



**Magyar Tudományos Akadémia  
Debreceni Területi Bizottsága –  
Debreceni Akadémiai Bizottság  
Műszaki Szakbizottsága**

*elektronikus*

# **MŰSZAKI FÜZETEK II.**

**Debrecen 2006**



# **MŰSZAKI TUDOMÁNY AZ ÉSZAK-ALFÖLDI RÉGIÓBAN**

**KONFERENCIA  
ELŐADÁSAI**

*elektronikus*  
**MŰSZAKI FÜZETEK  
II.**

**Kiadja: Debreceni Akadémiai Bizottság  
Műszaki Szakbizottsága**

**ISBN 978-963-7064-17-3**

**Sorozatot szerkeszti: Pokorádi László  
Kiadányt szerkesztette: Kalmár Ferenc**

**Debrecen 2006**





## TARTALOMJEGYZÉK

<i>Vermes Pál – Vas Ferenc</i>	
Gépkarbantartás helyzete és megoldások a mezőgazdaságban	5
<i>Gyarmati József – Kavas László</i>	
A légierő technikai korszerűsítésének néhány elméleti kérdése	23
<i>Pokorádi László</i>	
Bizonytalanság és kockázat a technikai rendszerek üzemeltetésében	33
<i>Szigeti Ferenc – Dezső Gergely</i>	
Minőségirányítási rendszerek értékelési módszereinek összehasonlítása	43
<i>Békési Bertold</i>	
A függőleges túlterhelési tényező $n_y$ vizsgálata a fedélzeti adatrögzítő adatai alapján	51
<i>Oláh B. – Bányai T. – Cselényi J.</i>	
Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszer elosztójáratainak logisztikával integrált tervezési módszerei és a változatok összehasonlító vizsgálata	61
<i>Dudás I. – Varga Gy. – Szigeti F. – Péter L. – Százvai A.</i>	
Fúratmegmunkálás minimálkenéssel	77
<i>Spisák Ottó – Dezső Gergely</i>	
Bordázott tengely megmunkálásának vizsgálata végeelem módszerrel	93
<i>Nagy Sándor – Péter László – Százvai Attila</i>	
Fotoképlékenységtan a fémalakítás modellezésénél	99
<i>Kalmár Ferenc</i>	
Zavaró tényezők hatása a fűtési energiafogyasztásra	115
<i>Farkas Ferenc</i>	
Biodiesel – válaszok kérdőjelekkel	125



## A GÉPKARBANTARTÁS HELYZETE ÉS MEGOLDÁSOK A MEZŐGAZDASÁGBAN

### BEVEZETÉS

Tanulmányunk a Földművelési és Vidékfejlesztési Minisztérium (FVM) által elfogadott, az FVM Mezőgazdasági Gépkiérleteti Intézet (Gödöllő) koordinációjában megvalósult 43532. sz. K+F téma keretében készült a Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultás (Mezőtúr) Karbantartás Tanszékén összeállított anyag [1] és egy kissé részletesebb tanulmány [2] alapján.

A tanulmány a gépfenntartás erőforrásai – döntően a létesítmények, kisebb mértékben a munkaerő – felől közelítve a **szerviz és a gépjavítás** tevékenységeinek **feltételeit** és lehetséges **megoldásait** – főként szempontjait – tárgyalja.

Tapasztalataink szerint e tevékenységek üzemi megvalósítása elsősorban a kisebb méretű egyéni (családi) és társas vállalkozások esetében problémásak. Nagy társas vállalkozásokban jelentős a szakmai specializálódás, ennek megfelelően szakemberek állnak rendelkezésre, jellemzően az egyes fenntartási tevékenységekre szakosodott létesítmények (pl. szervizműhely, gépjavító műhely, raktárak, mosók, stb.) is maradtak vagy létesültek. Ezekben a szerviz és a gépjavítás rendszere és feltételei is meghatározottak, önállóan vagy a nagy gépforgalmazókhoz, integrátorokhoz kötődően a feladatok elvben ismertek.

Ugyanez nem mondható el a kisebb méretű mezőgazdasági vállalkozásokra. Önmagában a kisebb-nagyobb jelzővel illetett üzemméret meghatározás is életlen, és nem feltétlenül a művelt földterület nagysága a döntő.

Témánk szempontjából kis- és közepes méretű mezőgazdasági (növénytermesztő, állattenyésztő, kertészeti, vegyes) vállalkozások gépfenntartásának megoldása lehetőségeivel foglalkozunk, amelyekben korlátozott a munkaerő szakmai specializálódása, általában hiányosak a tárgyi feltételek, ill. különféle okokból (pl. tőkehiány, rossz induló feltételek) ezek kialakítása még várat magára.

Tanulmányunkban a fenti értelemben kis- és közepes méretű mezőgazdasági vállalkozásokkal foglalkozunk, és ezeket röviden (mezőgazdasági) üzemeknek nevezzük.

### KARBANTARTÁSI FOGALMAK, ÉRTELMEZÉSEK

#### A karbantartás, a szerviz és a gépjavítás

A gépfenntartás/gépkarbantartás alapvető **célja**, hogy a gépek a feladatukat képesek legyenek ellátni, vagyis a funkcióképességüket folyamatosan megőrizték. A funkcióképesség feltétele, hogy a gépek a funkcióteljesítéshez szükséges tartalékkal, készlettel minden időpontban rendelkezzenek. Ezt a készletet elhasználódási tartaléknak (EHT) nevezik, ez jelenti a gép használati értékét az üzemeltető számára.

A **karbantartás** intézkedések összessége a névleges állapot megőrzésére és helyreállítására, valamint a tényleges állapot megállapítására és értékelésére. Az előzőkkel összhangban az állapotot mindig a funkcióképesség szempontjából értelmezzük.

A szabványokban is rögzített fő intézkedéscsoportok (ápolás-gondozás, ellenőrzés, javítás) jelentik a fenntartást/karbantartást. A mezőgazdaságban a karbantartáson általában a javítás nélküli fogalmat értik. Az eltérő fogalomhasználat miatt célszerű adott esetben a használt kifejezés tartalmát pontosítani. Anyagunkban az átfogóbb, a **javítást is magába foglaló karbantartás-fogalmat használjuk**.

A **karbantartás feladata**, hogy alkalmas módon gondoskodjon az EHT megőrzéséről és ismételt rendelkezésreállításáról.

A karbantartás/fenntartás feladatai igen kiterjedtek. Egyfajta lehetséges csoportosításukat az **1. ábra** mutatja. Az intézkedéscsoportokba történő besorolást nem az intézkedések jellege, hanem az elérendő cél szabja meg. Jellemző példa lehet a tisztítás, amely nemcsak az ápolás-gondozás, hanem a javítás – sőt a felülvizsgálat – főcsoport művelete is lehet.



1. ábra. A karbantartási feladatok rendszerezése

Különösen a szervíz szempontjából kiemelendő, hogy a gép élettartama során az üzemi karbantartás együttműködik a **vevőszolgálati szervezettel**; meghatározó a vevőszolgálat feladata a garanciaidőben, míg a gépelettartam későbbi szakaszaiban főként az üzemi gépkarbantartás szerepe a döntő. A karbantartás és az üzemeltetés számára lényeges, hogy ismerje a garanciális ellátás szabályait, előírásait.

A **gépfenntartás** és a **termelés kapcsolata** sokszálú, hiszen a karbantartási munkák tervezése az üzemi termelési, géphasználati tervekkel összhangban (pl. termelésen kívüli időszakokban végzett karbantartások) történik, a gépkezelők részt vehetnek egyes fenntartási feladatokban, a gépkarbantartás igazodik a mezőgazdasági termelés sajátosságaihoz, stb.

A karbantartási feladatok rendszerezése jó áttekintést ad arról, hogy az üzem minden gépén és berendezésén a funkcióképesség biztosításához milyen intézkedéseket (karbantartási feladatokat, műveleteket) kell elvégezni. Gépenként természetesen eltérő a feladat, hiszen

- minden feladatra nincsen szükség (pl. tárolás elmaradhat),
- nem azonos egy-egy intézkedés súlya, fontossága minden gép esetében.

Az 1. ábrán felsorolt feladatok közül a **szervíz** fogalmába elsődlegesen a **műszaki felülvizsgálatok (szemlék)** tartoznak, amelybe különféle tartalmú más műveletek is, pl.:

- az ápolás-gondozás főcsoportba illesztett egyes időszaki (nem napi) műveletek és a kenés (kenőanyagcsere),
- az ellenőrzés főcsoportba sorolt egyes diagnosztikai vizsgálatok,

valamint egyes esetekben

- lényegében javítást jelentő, főként alkatrészcserevel megoldható kis munkaigényű javítások és beállítások

besorolhatók.

A **gépjavítás** a gép műszaki állapotát, EHT-át a funkcióellátáshoz megkívánt mértékben helyreállítja. A természetes elhasználódás miatt (kopás, korrozio, kavitáció, kifáradás, stb.) bekövetkező EHT-csökkenést a **tervezett javításokkal**, a váratlan hibák következményeit **eseti javításokkal** orvosoljuk.

A **gépjavítás** általános folyamata, **lépései** a következők:

- a gép átvétele a javítóüzemben: célszerűen jegyzőkönyvileg (állapot, hibák, tartozékok, stb.);
- tisztítás: mechanikai, mosás vízzel, gőzzel;
- szétszerelés: főegységekre, alkatrészekre: szakszerűség, speciális szerszámok;
- alkatrészek mosása: vizes mosás, zsírtalanítás, oxideltávolítás;

- alkatrészek hibafelvételezése, minősítése: selejtes (pótlásra szoruló), hibátlan (újra felhasználható) és felújítható alkatrészek;
- alkatrészfelújítások elvégzése (forgácsoló, hegesztő, fémszóró, egyéb mechanikai, felületkikészítő, stb. eljárásokkal);
- részegységek, fődarabok, majd a gép összeszerelése: csereszabatos alkatrészek, speciális szerszámok;
- bejáratás, fékezés: önjáró gépeknél;
- felületbevonás, festés: korrózióvédelmi, illetve esztétikai célokból;
- átadás: célszerűen jegyzőkönyvvel.

A **bejáratás** a javítás befejező műveletei közé tartozik. Az üzemeltetés kezdetén az illeszkedő alkatrészek (alkatrészpárok) felületi egyenlőtlenségei deformálódnak, kopnak. A gyártók (a gépkönyvekben) és a felújítók bejáratási előírásokat közölhetnek, ezeket az üzemeltetés során be kell tartani. A bejáratás alatt (legfeljebb néhányszor tíz üzemóra) üresjáratban ill. nem teljes terheléssel történő működtetés, fokozatos igénybevétel-növelés, fokozottabb ellenőrzés, gyakoribb olajcsere indokolt. A javítás utáni bejáratást különösen az erőgép- és az önjáró munkagép-motorok igénylik.

A **gépjavítás** az üzem javító-egységében vagy szakosított cégnél végezhető ill. szolgáltatásként vehető igénybe, kiterjedhet az egész gépre vagy főegységre (pl. motorra, adagolóra, stb.), de vonatkozhat akár egy alkatrésze is (pl. motor-főtengelyre). A javítás anyag és eszközigenyes, nagy szakértelmet igénylő munka. **Műszaki-szervezési megoldásait** tekintve egyedi, folyamatos és cserés javítási rendszereket ismerünk.

A mezőgazdasági üzemben elsősorban az **egyedi gépjavítás** lehet a tervezhető megoldás. A folyamatos gépjavítás szakosodott szolgáltató szervezetek esetében képzelhető el, amelynek igénybevevője lehet az üzem. A **részegységcserés** megoldás az üzemekben szóba jöhet: a hibás részegységeket (vizsgálat után) kicserélik, újjal vagy felújítottal kicserélik, a beszerelés után ismét ellenőrzés következik.

## A karbantartási rendszer és néhány jellemzője

A **fenntartási/karbantartási rendszer** magában foglalja a szükséges erőforrásokat (létesítmények, eszközök, anyagok, munkaerő, pénz, információ), a műszaki-szervezési dokumentációkat és a karbantartási intézkedések végrehajtására vonatkozó terveket (pl. intézkedések jellege, tartalma, gyakorisága). A karbantartási rendszerek a kár-, idő-, állapotfüggő alapstratégiákat valósítják meg.

Általánosnak tekinthető, hogy **megelőző** jellegű karbantartási **rendszer** alkalmazása esetén az összes vagy valamely intézkedés (pl. csak a felülvizsgálat) **ciklikusan** ismétlődik. A **mezőgazdasági gépek esetén korábban általánosan** alkalmazott gyakorlat szerint a szemléket a napi gondozási műveletek ( $K_0$ ) és természetesen az általában évente, ill. az idényjellegű gépek esetén az üzemszünetekben végrehajtott, különböző terjedelmű javítások egészítik ki. A szemlék ( $K I.$ ,  $K II.$ ,  $K III.$  karbantartási fokozatok) tartalma a gépkönyvekben a gyártók által előírt, a magasabbrendű szemlék magukba foglalják az alacsonyabbrendű szemlék műveleteit is. A ciklus szerkezete, az üzemóra-érték, a műveletek tartalma gyártmányonként változik. Ezek betartása a garanciaidő alatt kötelező, be nem tartásuk a garancia megvonásával jár.

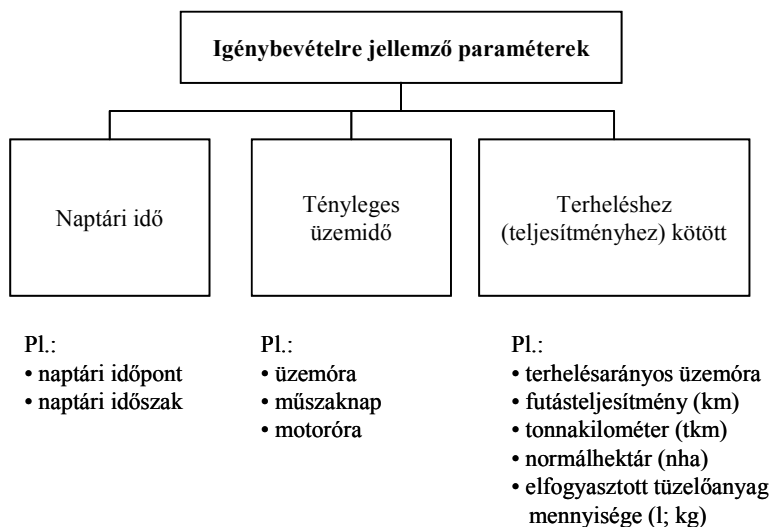
**Napjainkban** az alkalmazott rendszerek nem követik szorosan a fenti rendet. A gépkönyvek, üzemeltetési és karbantartási utasítások a legfontosabb előírásokat tartalmazzák, az eltérések a következők lehetnek:

- a szemle fokozatok helyett más kategóriák (pl. napi, heti, éves, stb. feladatok fordulnak elő; a rendszer nem ennyire merev (pl. meghatározott futásteljesítményhez kötöttek a karbantartási feladatok).

A ciklikus-periodikus fenntartási rendszerek esetében az egyik alapkérdés, hogy az egyes **karbantartási intézkedések ütemezése** milyen paraméter alapján történhet (**2. ábra**).

Kedvező, ha olyan jellemző alkalmazására van mód műszaki-szervezési szempontból, amely a gép tényleges terhelésével, igénybevételével – ezzel feltehetően az elhasználódás mértékével – közvetlen összefüggésben van. A mezőgazdasági gépészeti gyakorlatban elterjedt paraméterek (pl. nha,

elfogyasztott üzemanyag) általában ilyenek, az üzemóra használata a közel állandó terhelésű gépek esetén indokolt.



2. ábra. A karbantartási intézkedések ütemezésére szolgáló paraméterek

A mezőgazdasági üzemekben alkalmazható karbantartási rendszert a következők szerint lehet leírni:

a) **Mezőgazdasági jellegű gépek, berendezések, járművek** (általában mobil eszközök) esetében ciklikus-periodikus karbantartási rendszer

- tipikus szemlerendszer, vagy a gépre vonatkozó előírások szerint adaptált rendszer;
- egyedi gépjavítás (döntően üzemszüneten kívül)

b) **Stabil gépek, ipari berendezések** esetében – amelyek az agrár- és az élelmiszeripari ágazatban is jellemzően előfordulnak – az iparból ismert klasszikus ciklusrend alkalmazható.

A **karbantartási rendszerek alkalmazása** számos egyéb komplex tervezési, szervezési feladat megoldását igényli, ezek közül néhány:

- nem megelőző vagy megelőző jellegű karbantartási rendszert alkalmazzunk és **milyent**;
- meg kell tervezni a karbantartási **technológiát**, folyamatait, **eszközsükségletét** (pl. gépek, berendezések, műszerek, felszerelések, anyagszükséglet, stb.)
- létre kell hozni a karbantartás új és/vagy átalakított **létesítményeit** (pl. szervizműhely, javító bázis, raktárak, mosó, szakosított műhelyek, irodák, stb.);
- meg kell állapítani a karbantartás összes és/vagy műveletenkénti és/vagy szakmánkénti **létszámszükségletét** valamely időszakra (pl. 1 évre):

$$b = \frac{T_k}{t_H} \quad (1)$$

ahol  $b$  – a szükséges létszám [fő]

$T_k$  – a karbantartási feladat munkaigénye [óra/év]

$t_H$  – a dolgozó hasznos időalapja [óra/év, fő]

## A GÉPFENNTARTÁS ERŐFORRÁSAINAK JELENLEGI HELYZETE

A Karbantartás Tanszék munkatársai 2004. végén és 2005. elején egy – többnyire személyes interjúval egybekötött – **kérdőíves felmérést** végeztek mintegy **65 üzemre** kiterjedően. A kérdések egy része a fenntartás/karbantartás erőforrásaira (munkaerő, létesítmények, eszközök, karbantartási rendszer) vonatkozott.

A kérdőívek feldolgozására **két ütemben**, részben eltérő tartalommal került sor. A megállapítások egybecsengenek az MTA Agrár-Műszaki Bizottsága felkért munkacsoportjának – nem konkrét felméréseken alapuló – megállapításaival. [3]

## Társas vállalkozások és családi gazdaságok fenntartásának helyzete

A **vizsgálatot** 12 db társas vállalkozásra (Rt, Kft, Bt, szövetkezet) és 8 db családi gazdaságra végeztük el, amelyek többsége Jász-Nagykun-Szolnok megyeiek, döntően szántóföldi növénytermesztéssel és 24-30 %-uk emellett állattenyésztéssel (sertés, szarvasmarha, baromfi) is foglalkozik. A családi gazdaságok 10 fő alatti, a társas gazdaságok 100 fő alatti létszámot foglalkoztattak. A géppark életkor és érték szempontjából meglehetősen változatos képet mutatott. A két kategória eléggé különbözni látszott a kiindulási adatok tekintetében, ezért külön-külön vizsgáltuk az összevethetőség érdekében [4]

### A gépfenntartás rendszere, intézkedések, feltételek

#### A társas vállalkozások körében

- A karbantartási feladatokat a vállalkozások főként saját kapacitással végzik, ez a növénytermesztő cégeknél néhány fő (10 alatti) **karbantartó létszámot** jelent. A nagyobb területen gazdálkodók esetében és a jelentős állattartással rendelkező cégeknél megfigyelhető, hogy a fenntartási kapacitást a gépkezelőkkel kiegészítik (bevonják őket a téli gépjavításba, ill. ők végzik a karbantartási munkákat), ill. nagyobb (10÷18 fő) karbantartó létszámot foglalkoztatnak. Egy társaság gépfenntartó szolgáltatást is végez, így a 3000 ha növénytermesztéshez 37 fő karbantartót foglalkoztat (alig hihető, hiszen a bevallott szolgáltatási árbevétele mindössze 700 eFt/év).
- A társaságoknál mintegy 50 %-ban ciklikus-periodikus **karbantartási rendszert** használnak. Többen állapotfüggő karbantartási rendszert vallanak, de gyanítható, hogy ez nem általános. A vizsgált gazdaságok közül 9 cég (75 %) vesz igénybe **külső cégtől fenntartási szolgáltatásokat** eszköz- ill. ismerethiány, speciális felkészültség okán elsősorban, közülük 6 cég (66,6 %) minősíti ezt számottevőnek vagy jelentősnek a cég szempontjából. Ugyanakkor gépfenntartási **szolgáltatásokat** 5 cég (42 %) **nyújt** másoknak, elsősorban kapacitáskihasználás, partneri kapcsolatok okán műszaki előkészítés, nagyjavítás, speciális javítások terén. Ezt a szolgáltatást csak két cég minősíti számottevőnek.
- **Karbantartás és javítástechnológiák** terén újdonságok nem mutatkoznak, a hagyományos technológiákat használják. Egy cég foglalkozik csak fődarabcsere javításokkal, generátorok felújításával, többen adagoló-beállítással.
- A cégek általában a hagyományos alap-gépekkel (esztergagép, marógép, fűrőgép, hegesztőberendezés) rendelkeznek és feltűnően sok a 9 év feletti életkorú gép. A fenntartásban használt gépek **életkora** lényegesen magasabbnak tűnik mint a termelés gépeié.
- A vizsgált cégek mindegyike 200÷1.800 m<sup>2</sup>-es **javítóműhellyel** és 36÷150 m<sup>2</sup>-es **elkülönített alkatrészraktárral** rendelkezik. A gazdálkodást is tükrözi, hogy alig van cég, amely a raktárkészlet nagyságát ismerné. A műhelyek többsége téglafalazatú, egy részük fémvázaz. Lakatos, hegesztő, forgácsoló, szerelő, elektromos műhelyekkel általában rendelkeznek, de diagnosztikai műhely csak egy cégnél van.
- A javítás rendszere általában **egyedi**, az alapvető rámpa, kenőanyag tároló, emelőberendezés, célszerszámok rendelkezésre állnak. Szervizgépkocsival a cégek közül négy (33,3 %) rendelkezik, jellemzően valamennyien 3.000 ha felettiek.
- A szerviztevékenységeket döntően (80 %) az **üzemóra alapján** tervezik, csak egy cég jelzi, hogy a tkm-t és a nha-t is használja. A gépjavításokat tervszerűnek vallják, de a nyilvántartási rendszer döntően **manuális**, három cégnél van saját fejlesztésű szoftver a gépfenntartás támogatására.

- A géptároláshoz két cég kivételével 200÷1.300 m<sup>2</sup>-es zárt (fedett) szín és 140÷20.000 m<sup>2</sup> nyitott felület van, utóbbi részben (de nem mindenütt) betonozott, nagyobb részük kőzúzalékos vagy gyepest-földes felület. Egy cég jelzi, hogy a fedett géptárolók átmenetileg gabonátárolók is.
- A **gépek tisztításához** mosóállás, mosóberendezés rendelkezésre áll, de három cégnél (25 %) a szennyvízkezelés nem megoldott.
- A **tárolás** feladatait főként a gépkezelők látják el, gépudvaros csak két cégnél van. Korrózióvédelmet két cégnél nem végeznek (16,6 %), a többinél mindenütt saját dolgozóval.

#### A családi gazdaságok körében

- A karbantartási feladatokat a gazdaságok főként (6-nál, 75 %) a **gépkezelők**, ennek felénél külső eseti szolgáltatással kiegészítve végzik. Mindössze két gazdaságnál alapozódik a feladat külön karbantartókra. Külön karbantartó személyzet főként az állattartással is foglalkozó gazdaságokban van, maximum 3 fő.
- Az alkalmazott **karbantartási rendszer** döntően ciklikus-periodikus. Többen ugyan állapotfüggő karbantartást vallanak, de ez diagnosztikai berendezések nélkül téves megállapítás. Jellemző, hogy a kötelező (garanciális) szolgáltatásokon kívül többen nem vesznek igénybe **külső szolgáltatásokat**. Három gazdaság jelzi, hogy elsősorban speciális javításokat külső szolgáltatóval végeztet és ezt számára jelentősnek ill. számottevőnek minősítik (37,5 %).  
A családi gazdaságok közül senki **nem nyújt fenntartási szolgáltatásokat** másoknak.
- A normál karbantartási és kisebb javítási feladatokon túl más **fenntartási technológiák** alkalmazása nem fordul elő egyik gazdaságban sem.
- A gazdaságok a hagyományos alap-gépek közül is legfeljebb néhányval (általában fűrógéppel, hegesztőberendezéssel) rendelkeznek, van gazdaság, amelynél semmiféle ilyen eszköz nincsen. A gépek egy részének az életkora is ismeretlen.
- A gazdaságokban 10÷280 m<sup>2</sup>-es **javítóműhelyek** vannak, közülük négy (50 %) rendelkezik elkülönített alkatrész raktárral is. A műhelyépületek többnyire téglafalazatúak (87,5 %), egy részük fémváz, egy gazdaságban favázás épület van. Külön szerelő, hegesztő, elektromos műhelyek nincsenek.
- A javítás rendszere általában **egyedi**, az alapvető eszközök közül a kéziszerszámok, és (hiányosan) az emelőberendezések és a kenőanyag tároló áll rendelkezésre.
- A **szerviztevékenységeket** az üzemóra alapján tervezik csaknem mindenhol, a **gépjavításokat** sajnos **nem**, a gépfenntartás nyilvántartása manuális, számítógépeket, szoftvereket nem használnak.
- A géptároláshoz öt gazdaságban (62,5 %) van 250÷2.500 m<sup>2</sup>-es zárt (fedett) szín és 100÷200 m<sup>2</sup>-es általában kőzúzalékkal borított nyitott gépudvar. Három gazdaságban (37,5 %) tehát egyáltalán nincs zárt szín.
- A **gépek tisztításához** mosóállás sehol sincsen, így a szennyvízkezelés sincs megoldva.
- A **tárolás** feladatait a gépkezelő, egy esetben maga a tulajdonos végzi. Korrózióvédelmet egy gazdaságban nem végeznek, a többinél mindenütt saját dolgozóval.

#### A gépfenntartás fejlesztése

##### A társas vállalkozásoknál

- A fenntartás **saját erőforrásainak fejlesztésére** a vizsgált cégek közül kilenc (75 %) tud megjelölni 0,5÷100 millió forint összeget. (Ezek nem hihetőek, elég csak a bevallott árbevétellel összevetni őket.)
- Figyelemre méltó, hogy a vizsgált társaságok közül nyolc (66,7 %) sem a nyújtott, sem az igénybevett szolgáltatását **nem tervezi bővíteni**.  
Egy cég van, amely mindkettőt tervezi kapacitáshasznosítás ill. bevételnövelés céljából. Egy cég csak az általa nyújtott, egy pedig az igénybevett szolgáltatást kívánja bővíteni, de öt cég nyilatkozik úgy, hogy új szolgáltatási ajánlatokkal megismerkedne.  
Csak három cég tervezi, hogy igénybevevői elégedettség-vizsgálatát bevezeti.



### A családi gazdaságoknál

- A fenntartás **saját erőforrásainak fejlesztésére** a vizsgált gazdaságok fele kíván áldozni 0,5÷4 millió forintot évente saját forrásból. A gazdaságok másik fele egyértelmű nemmel válaszol.
- Hat gazdaság (75 %) sem az igénybevett, sem a nyújtott **fenntartási szolgáltatásait** nem kívánja bővíteni.

Egy cég (amely eddig is igénybevett szolgáltatásokat) tovább bővítené, főként a műszaki diagnosztika (nincs műszere) terén, kapacitáshiány okán. Egy gazdaság bővítené szolgáltatásait a gépjavítás területén, árbevételnövelés céljából (eddig még nem szolgáltatott a gazdaság).

### Művelt területek szerinti üzemcsoportok fenntartásának helyzete

A második ütemben a rendelkezésünkre álló kitöltött **kérdőívek** felhasználásával az üzemeket az általuk művelt földterület szerint három csoportba osztottan vizsgáltuk az **1. táblázat** szerint.

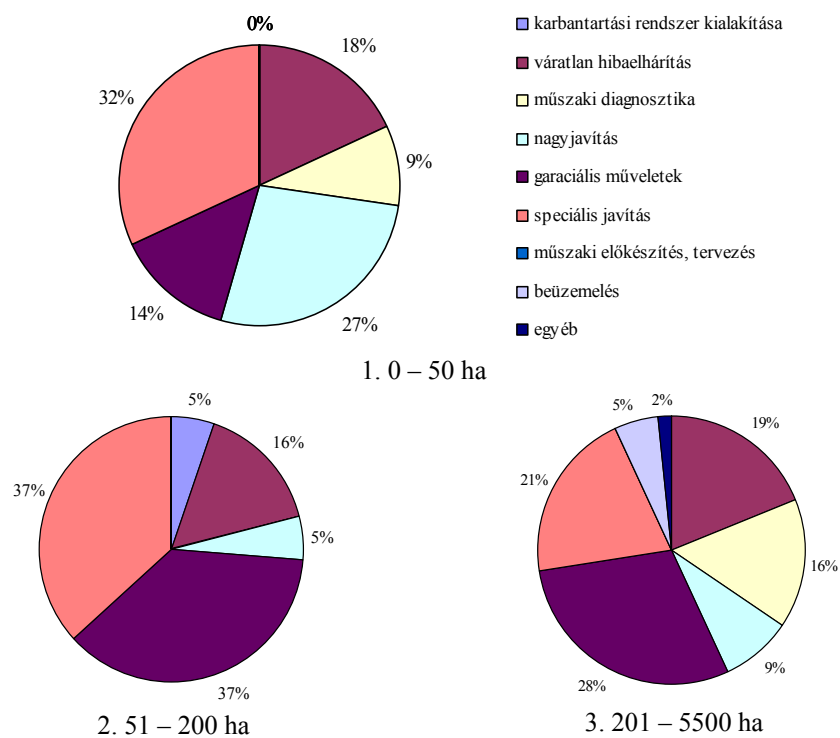
A vizsgált gazdaságok jellemzői

1. táblázat

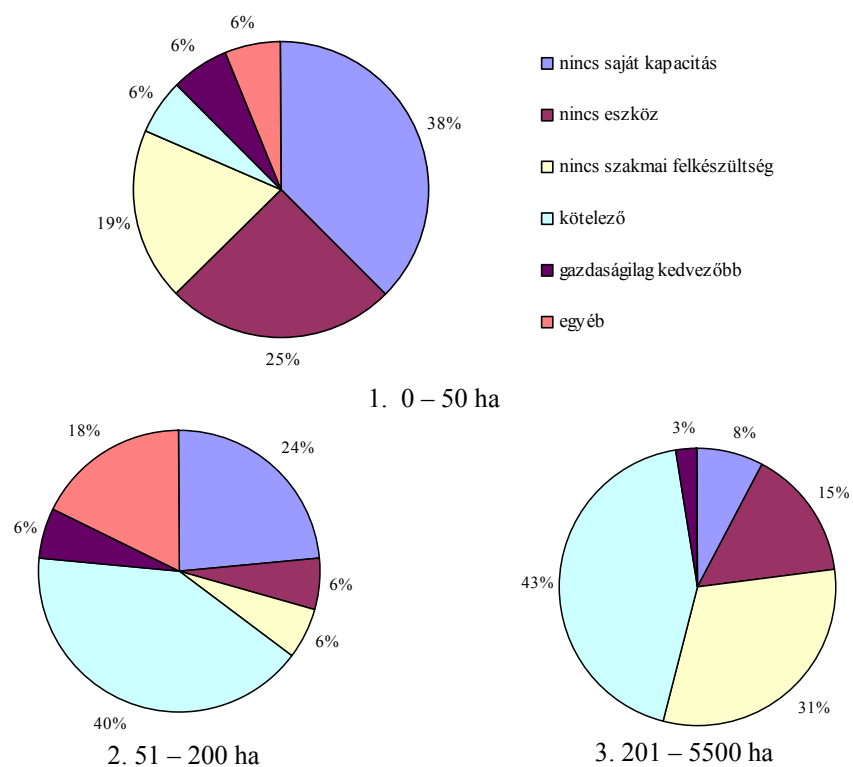
Sor-szám	Földterület [ha]	Üzemek száma [db]	Művelt terület összesen [ha]	Átlagos földterület [ha/üzem]	Az üzemek közül			
					csak növénytermesztő [db]	csak állattenyésztő [db]	csak kertészeti [db]	vegyes [db]
1.	– 50	19	419	22	8	4	1	6
2.	51 – 200	13	1.441	111	9	-	-	4
3.	201 – 5500	33	41.274	1250	22	-	-	11
		<b>65</b>	<b>43.134</b>	<b>664</b>	<b>39</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>21</b>

Az egyes jellemzőket a fenti **földterületi kategóriák (1. – 2. – 3.) sorrendjében** a válaszok **százalékos** értékeinek közlésével **értékeljük**.

- A gépfenntartási tevékenységet döntően (62 – 63 – 45 %-ban) a gépkezelők végzik, saját gépkarbantartó személyzet 19 – 24 – 25 %-ban van az üzemekben.
  - A gépfenntartás főként hibaelhárításon alapul (40 – 43 – 30 %), de jelentős arányt képvisel a ciklikus-periodikus karbantartási rendszer (24 – 38 – 49 %) is.
  - Az üzemek 53 – 92 – 76 %-ban vesznek igénybe karbantartási szolgáltatásokat, a szakterületeket a **3. ábra**, az okokat a **4. ábra** mutatja.
- A szolgáltatások igénybevételét nagy arányban nem jelentősnek minősítették (59 – 46 – 49 %).



3. ábra. Igénybevett karbantartási szolgáltatások szakterületei



4. ábra. Karbantartási szolgáltatások igénybevételének okai

– A más cégeknek szolgáltató üzemek aránya alacsony (5 – 0 – 24 %).

- A saját karbantartási célú eszközök ellátottsága igen rossz: nincs az üzemekben
  - diagnosztikai eszköz 79 – 100 – 76 %-ban,
  - kenéstechnikai eszköz 63 – 69 – 39 %-ban,
  - javítási eszköz 42 – 36 – 21 %-ban,
  - alkatrészfelújítási eszköz 89 – 85 – 45 %-ban.
- Saját véleményük szerint a környezetvédelmi előírásokat 68 – 62 – 82 %-ban tartják be.
- A javításhoz főként téglafalú műhely (42 – 31 – 58 %) áll rendelkezésre és fémvázaz épület is 11 – 23 – 21 %-ban fordul elő, de semmilyen műhely nincs 37 – 15 – 12 %-ban. A javítás döntően egyedi (60 – 69 – 58 %), a megjelölt folyamatos javítás (6 – 0 – 30 %) valószínűleg hibás értelmezés eredménye.
- A gépjavításhoz főleg kenőanyag-tároló (42 – 77 – 79 %), egyéni szerszámok (63 – 77 – 88 %) és célszerszámok (53 – 23 – 64 %) állnak rendelkezésre, de daru (16 – 38 – 55 %), rámpa (11 – 8 – 33 %) csak a megjelölt arányban.
- A fenntartáshoz diagnosztikai műhely egyáltalán nincsen, forgácsoló rész 10 – 0 – 42 %-ban van, elektromos és hegesztő műhely átlagosan az üzemek kb. 40 %-ánál létezik. Alkatrészraktár előfordulása: 37 – 31 – 58 %.
- A szemléket 53 – 46 – 76 %-ban ütemezik, döntően az üzemóra alapján (70 – 71 – 73 %), a korábban nagyarányú elfogyasztott üzemanyag alapján alig (0 – 0 – 3 %).
- A gépjavítást elfogadhatatlanul nagy arányban egyáltalán nem tervezik (48 – 27 – 30 %), és nincs is nyilvántartási rendszer 63 – 69 – 24 %-ban.

## Néhány következtetés

A felmérés elemzéséből néhány – a továbbiak szempontjából fontosnak látszó – következtetés adódik:

- Bár mind a családi és a társas vállalkozások, mind a földterület alapján kezelt három kategória üzei között jelentős eltérések vannak, ilyen alapon mégsem lehet a karbantartás erőforrás-szükségleteit tervezni.
- A 200 ha feletti üzemek jellemzői szinte minden tekintetben jobbak a kisebbekénél, de e minősítést jelentősen javítja a csoportba sorolt néhány, több ezer hektáros nagyüzem.
- Az egyes kategóriákon belül is jelentős különbségek vannak, azonos helyzetű és feltételű üzemek szinte nincsenek.
- Nehéz olyan ajánlásokat kidolgozni, amelyeket általánosan tudnának használni az üzemek – sokszor a karbantartáshoz keveset értő ill. megfelelő jövedelemmel nem rendelkező – tulajdonosai, akik sokszor maguk is fizikai munkavégzők.

## AZ ÜZEMEK FENNTARTÁSI ERŐFORRÁSAI MEGHATÁROZÁSA

### Az erőforrások meghatározásának elve és folyamata

A korábbi munkákban közölt erőforrás-szükségletek (műhelyek, alapterület, eszköz, létszám) ajánlott mértékét általában az üzemmérethez (hektárban kifejezett földterület-kategóriákhoz) kötötték.

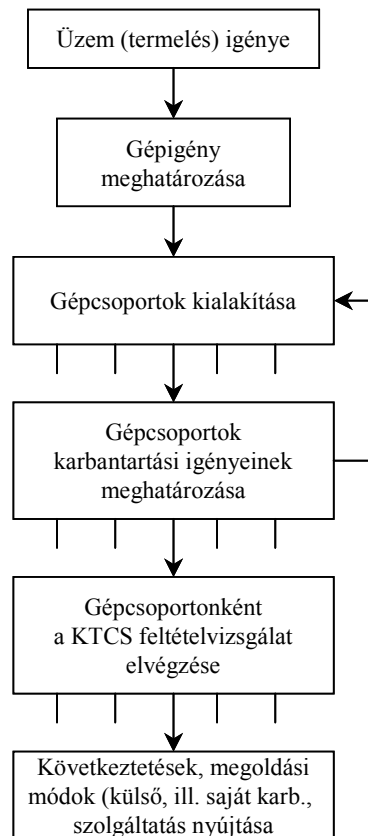
Tapasztalatok és a felmérés alapján úgy látjuk, önmagában az üzemméret nem jelent kellő alapot a karbantartási tevékenység erőforrásainak meghatározásához, ill. az üzemmérethez illeszkedő típus-megoldások alkalmazásához.

Az általunk **javasolt módszer** az adott és/vagy tervezett (típus szerint ismert) géppark karbantartási igényeiből indul ki és a mezőgazdasági üzemben elvégezhető, szükséges karbantartási tevékenységek hierarchikus csoportjaihoz határoz meg szükséges feltételeket (erőforrásokat).

A **módszer elve, a folyamat fő lépései** összefoglalóan (**5. ábra**):

- a termelési feladathoz szükséges saját géppark azonosítása, meghatározása, esetleg gépek kölcsönzése;
- a közel azonos karbantartási erőforrásokat igénylő gépcsoportok kialakítása (a géppark gépeinek csoportosítása);

- az egyes gépcsoportokba tartozó gépek, berendezések karbantartási igényeinek meghatározása;
- gépcsoportonként a karbantartási tevékenységcsoport (KTCS) feltételeinek (erőforrás-szükségletének) meghatározása, vizsgálata;
- gépcsoportonként a saját erőforrásokkal, ill. külső szolgáltató igénybevételével ellátható karbantartási feladatok és ezek erőforrásainak meghatározása;
- más üzemeknek nyújtható karbantartási szolgáltatási lehetőségek, ill. saját erőforrások fejlesztési szükségletének meghatározása.



5. ábra. Az üzemfenntartás erőforrásainak meghatározása

## A gépcsoportok és karbantartási szükségleteinek meghatározása

A mezőgazdasági üzem termelési tervének végrehajtásához szükséges gépi munkaigény meghatározása után az **üzem** (tulajdonos) **dönthet**, hogy a feladatokat

- milyen típusú, mennyiségű saját géppel, berendezéssel,
- mennyi gépi munka szolgáltatás igénybevételével,
- esetleg milyen idegen tulajdonú gépekkel (bérlet, lízing, stb.)

tervezi végrehajtani. Ha idegen tulajdonú eszközt használ (nem gépi munka szolgáltatást vesz igénybe), feltehetően ennek karbantartásáról a saját gépeivel azonos módon kell gondoskodnia.

Az egyes gépek karbantartási szükségletei és ezek kielégítésének feltételei nagyon eltérőek. Szükségesnek látjuk ezért, hogy **gépcsoportokat** képezzenek az adott (tervezett) gépparkon belül, amelynél a következő **karbantartási szempontokat** célszerű figyelembe venni:

- A gépek szerkezeti felépítése, műszaki megoldásai: e szempont szerint megkülönböztethetők például:
  - hagyományos, általában régebbi típusú, alapvetően mechanikus, javítható szerkezeti elemekből álló, általános szakismeretet;
  - elektronizált, bonyolult szerkezetű és vezérlésű, nagyértékű, általában új, korszerű, sok tekintetben speciális felkészültséget (eszközök, munkaerő)

igénylő gépek, berendezések.

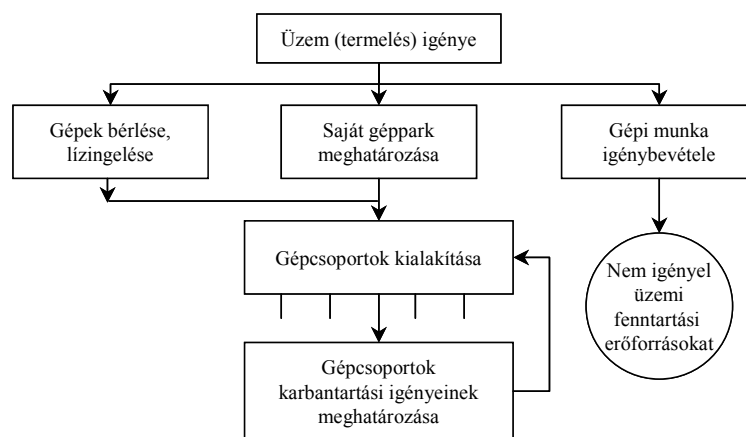
- A gépek mérete, tömege, hozzáférés lehetősége: e szempont befolyásolja például a műhely méretét (alapterület, akna, nyílászáró), emelőberendezés szükségességét.
- A gépek, berendezések karbantartás-igényessége: milyen bonyolultságú, gyakoriságú, speciális karbantartási eszköz-igényű műveleteket kell végezni.

Egy üzemben feltehetően 3-4 gépcsoport alkalmazása elegendő lehet, ezeken belül a **karbantartási feladatok** jellege és a **feltételei**, erőforrás-szükségei **azonosak ill. hasonlóak**.

A **gépcsoportok karbantartási igényeinek meghatározása** a gépcsoportba sorolt gépekre összegezett karbantartási igény számbavételét jelenti, többek között

- az éves munkaidő-szükséglet számítását karbantartási intézkedésenként (pl. a műszaki felülvizsgálatok, műszeres mérések, tervezett és váratlan javítások),
- a feladatok végrehajtásának tárgyi szükségleteit (műhely, felszerelések, anyagok, stb.).

Elvben ennél a lépésnél a meglévő karbantartási erőforrások mennyiségére és minőségére nem kell tekintettel lennünk. A folyamat a **6. ábrán** követhető.



6. ábra. Gépcsoportok karbantartási szükségletei

## A karbantartási igények üzemi feltételeinek vizsgálata

Az üzemek gépparkja még kevésszámú gép esetén is viszonylag heterogén, típus, életkor, korszerűség, állapot, stb. szerint jelentős eltérések vannak egy üzemben belül is. Ebből eredően a karbantartási szükségletek is igen változatosak, amelyeknek a kezelése differenciált megközelítést igényel.

Azt az **elvet** találjuk alkalmazhatónak, hogy a közel azonos karbantartási feladatokat tartalmazó és feltételeket igénylő gépcsoportok karbantartási szükségleteit meghatározott (tipikus) karbantartási tevékenységek feltételeivel összevetve lehet az adott üzem karbantartás-ellátó képességét vizsgálni: vagyis mely kategóriájú (tevékenységcsoportú) feladatok elvégzésére alkalmas saját erőforrásai felhasználásával.

A mezőgazdasági üzemek karbantartásának tapasztalatai, a felmérés eredményei, a szolgáltatások helyzete, az üzemek gazdálkodásának, jövedelmezőképességének és teherbíró-képességének ismerete alapján a vizsgálatunk tárgyát képező mezőgazdasági üzemek karbantartási feladatait **két karbantartási tevékenységcsoportba (rövidítve: I. és II. KTCS)** soroljuk a saját (karbantartó) személyzettel és más saját erőforrásokkal történő elvégezhetőség szempontjából:

### I. KTCS

- ápolás-gondozás: tisztítás, mosás, időszakos műveletek, kenés, átmeneti tárolás és korrózióvédelem (szabad téren),
- műszaki felülvizsgálatok (szemlék): alapvető diagnosztikával,
- egyszerű kisebb – főként alkatrészcsere – javítások, beállítások.

### II. KTCS

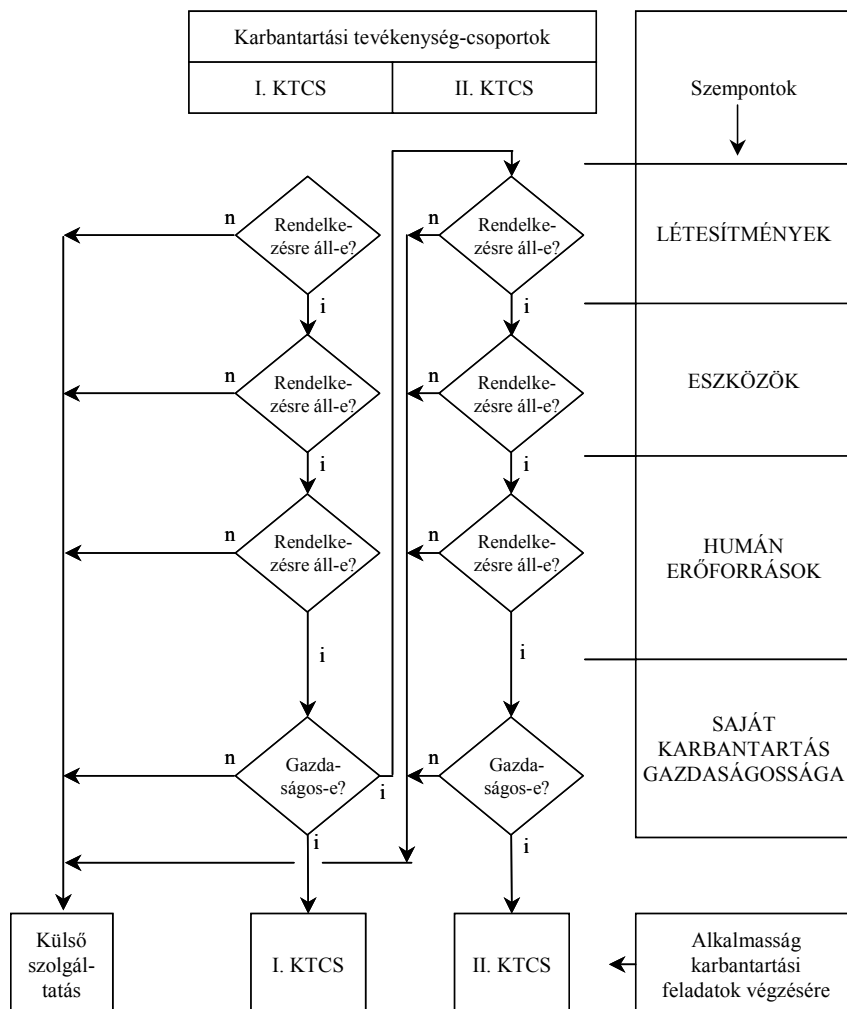
- KTCS feladatai,

- speciális felkészültséget nem igénylő, általános célú erőforrásokkal végrehajtható műszeres diagnosztikai vizsgálatok, felülvizsgálatok.
- gépek, berendezések váratlan hibaelhárítása és egyedi vagy alkatrész-, ill. részegységcserés tervezett javítások alapvetően általános célú technológiákkal, eszközökkel.

Az üzemben meghatározott minden gépcsoportra a következő **karbantartási feltételek** rendelkezésreállításának vizsgálatát célszerű elvégezni karbantartási tevékenységcsoportonként:

- **Létesítmények:** rendelkezésre állnak-e és melyik KTCS-nek megfelelően a szerviz és javítóműhelyek, kiszolgáló létesítmények?
- **Eszközök:** rendelkezésre állnak-e és melyik KTCS-nek megfelelően a műhelyfelszerelések, szervizberendezések, javításhoz szükséges gépek, szerszámok, speciális technológiai berendezések?
- **Munkaerő:** rendelkezésre állnak-e és melyik KTCS-nek megfelelően a karbantartási feladatok végrehajtásához, ill. irányításához alkalmas szak- és betanított munkások, ill. megfelelő szintű vezető?
- **Gazdaságosság:** gazdaságos-e az előző szempontok alapján meghatározott KTCS tevékenységegyüttesének saját erőforrásokkal történő elvégzése, vagy a külső szolgáltató igénybevétele kifizetődőbb?

A fenti szempontok vizsgálatát tartalmazó **döntési folyamatábra** (7. ábra) erősen egyszerűsített: a „Rendelkezésre áll-e?” és a „Gazdaságos-e?” kérdések ezen szempontok szerinti komplex, de **nagyvonalú vizsgálatot** feltételeznek.



7. ábra. A karbantartás üzemi feltételeinek vizsgálati folyamata

A részletesebb tervezés (ütemezés) időszakosan még kimutathat kapacitás-, eszközhiányt, amit megfelelő intézkedésekkel (átütemezés, túlmunka elrendelése, ideiglenes munkás-felvétel, stb.), vagy szolgáltatások igénybevételével lehet áthidalni.

A vizsgálati folyamat **jellegzetességei**:

- gépcsoportonként történik,
- sorrendben minden egyes karbantartási tevékenységcsoport feladatainak a saját üzemi karbantartással való elvégezhetőségét a szempontok szerint vizsgáljuk,
- eredményül kapjuk, hogy melyik eszközcsoport esetében melyik karbantartási tevékenységcsoport végrehajtására alkalmas az üzem fenntartása,
- gépcsoportonként természetesen más és más karbantartási tevékenységcsoport elvégzésére lehet alkalmas ugyanaz a fenntartó szervezet,
- a vizsgálat eredménye lehet, hogy egy üzem semmiféle fenntartási feladat elvégzésére nem felkészült vagy nem célszerű végeznie. Ez azt jelenti, hogy minden feladatot **külső szolgáltató** végez. [Megjegyezzük, véleményünk szerint az igen ritkán fordulhat elő, hogy pl. egyszerű gépek kenését sem maga végzi az üzem.]

## **Az üzemi karbantartási feladatok megvalósítási módjai**

A vizsgálatból levonható következtetések **három megoldási módra** mutathatnak rá.

### ***Az üzem saját erőforrásaival végezhető karbantartási feladatok***

A vizsgálatból meghatározható, hogy mely gépcsoport gépeinél, mely KTCS feladatok elvégzésére alkalmas az üzemi fenntartás. Ezekre a feladatokra a szükséges erőforrásokat a nagyvonalú vizsgálatra támaszkodva **részletesen megtervezzük**, ellenőrizzük.

A tervezés a karbantartás minden lényeges erőforrására (műhely, raktár, iroda, szociális létesítmény, rámpa, mosó, út, energiaellátás-, munkaerő-, készletek, pénz, stb.) kiterjed.

Ezen erőforrások közül néhánynak a tervezési szempontjaira a további fejezetekben kitérünk.

A részletes tervből **további következtetések** származhatnak (**8. ábra**):

- a meglevő erőforrások milyen mértékben alkalmasak a karbantartás üzemi feladatai ellátására,
- milyen fejlesztést igényelnek a meglevő erőforrások (pl. eszköz, felszereltség, alapterület-bővülés, stb.),
- milyen új létesítményre lenne szükség a magasabbrendű KTCS feladatainak ellátásához, a gazdaságosság érvényesítéséhez.

### ***Külső karbantartó szolgáltatás igénybevétele***

A vizsgálat alapján meghatározható, hogy mely gépcsoport gépeinél, mely karbantartási feladatokra szükséges külső szolgáltatót igénybe venni (**9. ábra**):

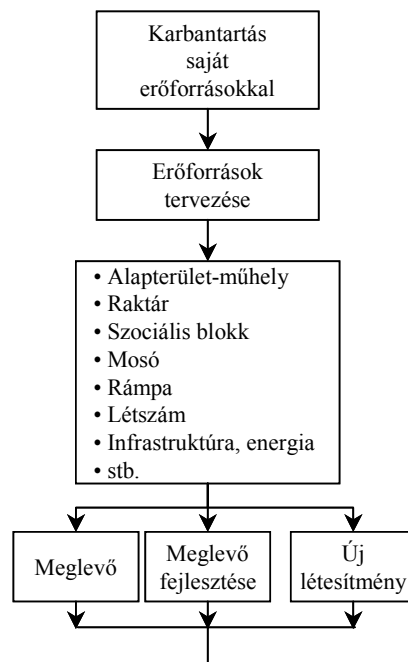
- a munkákra ajánlatokat kell kérni, értékelésük alapján a legmegfelelőbbel szerződni;
- egyes munkákat teljes egészében a szolgáltató erőforrásain végzik,
- előfordul (pl. stabil gépek esetén), hogy a munkavégzés az üzem (a megrendelő) telephelyén történik, és az üzem karbantartási erőforrásait (pl. javítóműhelyét) is használja a szolgáltató: ez esetben ezzel a kapacitásigénnyel is számolnia kell az üzemnek.

### ***Szolgáltatás nyújtható más üzem részére***

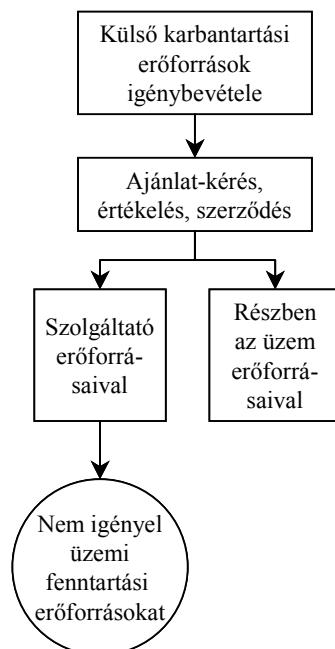
A vizsgálat eredménye lehet, hogy az üzem karbantartási erőforrásai, a meglevő kapacitások (időszakosan vagy rendszeresen) lehetővé teszik, hogy **aktív** módon bizonyos karbantartási **szolgáltatást** nyújtson piaci alapon.

Ez természetesen gazdaságilag kedvező, hiszen

- elősegíti a kapacitások kihasználását,
- a karbantartás hatékonyságát javítja,
- hasznosítható kapcsolatrendszerrel működtet,
- hozzájárulhat az üzemi karbantartás fejlesztéséhez.



8. ábra. Saját karbantartás erőforrásai



9. ábra. Külső karbantartás és az üzemi erőforrások



## SZERVIZ ÉS GÉPJAVÍTÓ LÉTESÍTMÉNY KIALAKÍTÁSÁNAK SZEMPONTJAI

Az előző fejezetekben meghatározott karbantartási tevékenységek, feladatok elvégzéséhez minden erőforrásnak a kívánt mennyiségben és minőségben, a megfelelő időben rendelkezésre kell állnia. Ez a szükséges erőforrásoknak és munkafolyamatoknak az átfogó ismeretét, menedzselését igényli, amely más-más szakismeretet feltételez például az anyagok rendelkezésreállása, vagy a karbantartó személyzet kiválasztása és oktatása terén.

A régi nagyüzemekben a szervizműhelyek és a gépjavító műhelyek külön létesítmények voltak, külön felszereléssel és személyzettel. A mai viszonyok között, a kis- és közepes méretű, a bevezetőben definiált üzemekben mindkét feladatot **együttesen** szolgáló **szerviz- és gépjavító műhely** kialakítása és működtetése lehet cél, amely mindkét karbantartási intézkedéscsoportot a képességei ill. a tervek szerinti mértékben kielégíti.

A továbbiakban a fenti feladatok közül kizárólag csak a létesítmények kialakításának szempontjaival, ajánlható megoldásával és ezek felszerelésével (gépek, berendezések, műszerek) foglalkozunk. Hangsúlyozottan **csak szempontokat adunk, a feladat** az előírásoknak megfelelő **szaktervezést igényel.**

### A karbantartási tevékenységcsoportokhoz illeszkedő ajánlások a létesítmény kialakításához

Mezőgazdasági üzem javító- és szervizműhelye céljára 6x12 m-es modulokból összeállítható szerkezetek kialakítását javasoljuk.

Az egyes csoportokhoz sorolt feladatok ellátására alkalmas ajánlott műhelyek elrendezését a **8-9. ábrák** vázlatai tartalmazzák.

#### *I. KTCS műveleteihez ajánlott műhely*

Az ajánlott műhelyelrendezés vázlata a **10. ábrán** látható.

A **mosóállás** (VII.) kialakítása lehetővé teszi a feljárón vagy a betontéren történő gép mosását.

A mosás után az erőgép a **szerelőműhelybe** (V.) kerül, ahol a karbantartási fokozatokban előírt munkafolyamatokat, illetve ellenőrzéseket végzik el. Itt helyezik el (IX.) a diagnosztikai eszközöket is.

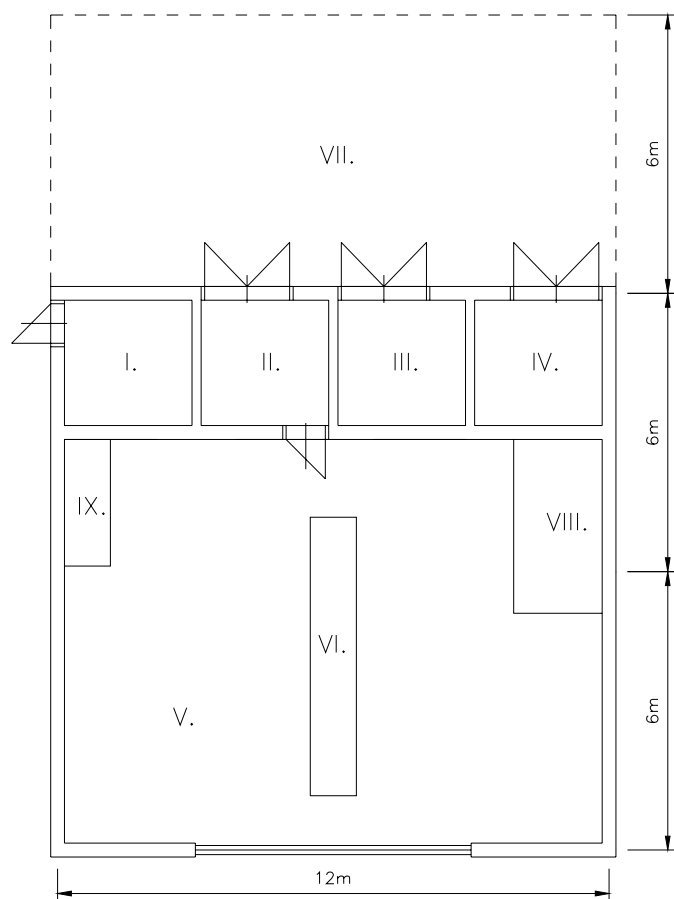
A **kenéstechnikai helyiségben** (II.) az olajcserénél szükséges eszközök, illetve a szükséges olajmennyiség tárolása történhet.

A szerviz- és javítóműhely sűrített levegő ellátását biztosító **kompresszor**, illetve a **mosóberendezés** külön helyiségben helyezhető el (IV.) munkavédelmi és környezetvédelmi előírások miatt.

A szerviztevékenység során keletkező veszélyes hulladékokat (pl. fáradt olaj, olajszűrő, olajos textília, stb.) zárt **veszélyes hulladék tárolóban** (III.) szelektíven, feliratozva gyűjtik. Erre a feladatra telephelyenként egy tárolót kell kialakítani.

Az **irodában** (I.) biztosított a szervizelési és a javítási műveletekhez szükséges adminisztráció, nyilvántartás elvégzése, a műszaki dokumentumok tárolása.

A **szerelőműhely** (V.) funkcionális leírását a 3.1. fejezet tartalmazza.



- |                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| I. Iroda                        | VI. Akna                            |
| II. Kenéstechnikai helyiség     | VII. Mosó                           |
| III. Veszélyes hulladék tároló  | VIII. Hegesztő-lakatos műhelyrész   |
| IV. Kompresszor és mosóhelyiség | IX. Diagnosztikai eszközök tárolója |
| V. Szerelőműhely                |                                     |

10. ábra. Az I. KTCS műveleteihez ajánlott műhely elrendezési vázlata

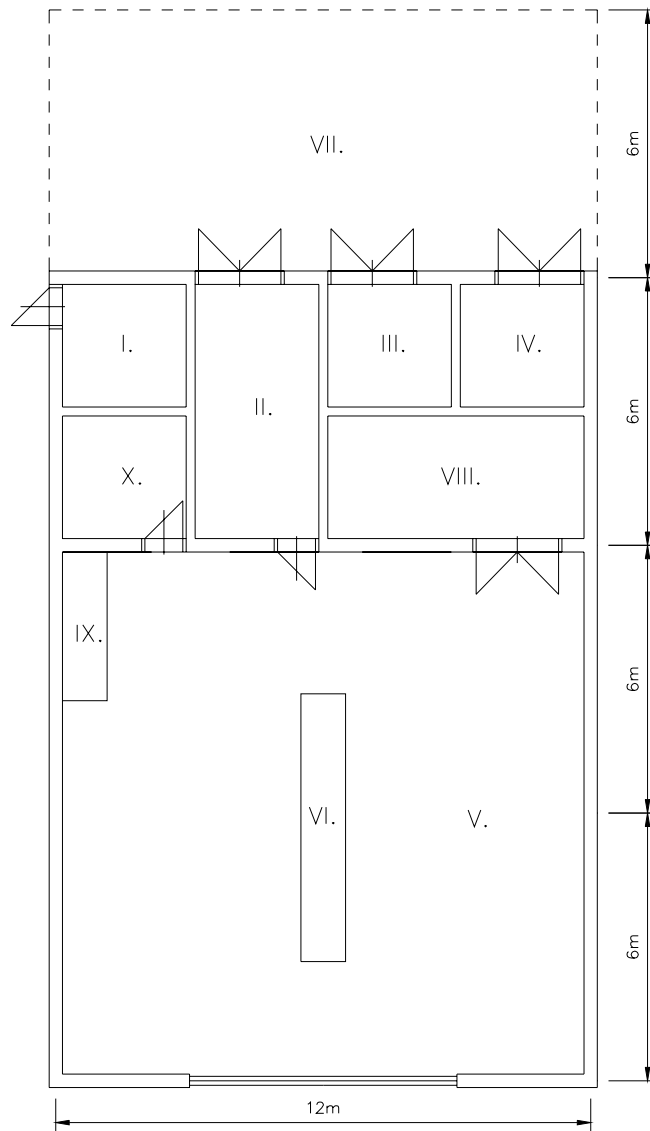
## II. KTCS műveleteihez ajánlott műhely

Az ajánlott műhely vázlatot a **11. ábra** mutatja.

Az I. KTCS műveleteihez ajánlott szervizműhely **kiegészül a hegesztő-lakatos helyiséggel (VIII.)**.

A részletes funkció leírása a 3.1. fejezetben található.

A magasabb szintű karbantartási és ellenőrzési műveleteknek megfelelően az egyes műhelyek berendezéseinek, eszközeinek száma megnövekszik a II. KTCS többlet-tevékenységeihez szükséges eszközökkel.



- |                                 |                                     |
|---------------------------------|-------------------------------------|
| I. Iroda                        | VI. Akna                            |
| II. Kenéstechnikai helyiség     | VII. Mosó                           |
| III. Veszélyes hulladék tároló  | VIII. Hegesztő-lakatos helyiség     |
| IV. Kompresszor és mosóhelyiség | IX. Diagnosztikai eszközök tárolója |
| V. Szerelőműhely                | X. Szociális blokk                  |

11. ábra. A II. KTCS műveleteihez ajánlott műhely elrendezési vázlata

## Összefoglaló ajánlás az üzemek részére

A bevezetőben vázolt kis- és közepes méretű mezőgazdasági üzemek [1] és [2] áttanulmányozásával, részletesebb tervezési munkák segítségével a minimálisan szükséges és elégséges tervezési-számítási munka elvégzése után támpontot kaphatnak a fenntartásuk erőforrásainak alkalmasságáról.

Összefoglaló jelleggel a **2. táblázaton** tüntettük fel a karbantartási feladatokhoz illeszkedő, szükséges létesítményeket, valamint jeleztük a berendezések és gépek szükségletét.

Utóbbiak tekintetében részletesebb információk az [5] munkánkban találhatók.

A szükséges karbantartási célú létesítmények, valamint a berendezés- és gépféleségek 2. táblázat

Műhelyek, műhelyrészek, helyiségek		Teljes körű külső szolgáltatás	Karbantartási tevékenységcsoportok	
			I. KTCS	II. KTCS
<b>Létesítmények</b>	<b>Azonosító szám*</b>			
1. Iroda	I.		+	+
2. Szociális blokk	X.			+
3. Kenéstechnikai helyiség	II.		+	+
4. Diagnosztikai eszközök tárolója	IX.		+	+
5. Veszélyes hulladék tároló	III.	+	+	+
6. Kompresszor-, mosóhelyiség	IV.		+	+
7. Szerelőműhely	V.		+	+
8. Hegesztő-lakatos műhelyrész	VIII.		+	
9. Hegesztő-lakatos helyiség				+
10. Mosó	VII.	+	+	+
11. Gépuvar				+
12. Fedett géptároló				
13. Üzem-, és kenőanyag tároló		+	+	+
14. Rámpa				+
15. Szabadtéri daru				+
<b>Berendezések, gépek</b>				
16. Emelőberendezés			+	+
17. Alkatrészmosó			+	+
18. Alkatrész felújító				+
19. Kézi megmunkálógépek			+	+
20. Forgácsológépek			+	+
21. Kenőberendezések			+	+
22. Diagnosztikai eszközök			+	+

## Magyarázat

\* A 2. táblázatban lévő azonosítószám megegyezik a 10-11. ábrákon szereplő jelölésekkel.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] VAS Ferenc – VERMES Pál: Mezőgazdasági üzemek szerviz- illetve gépjavító műhelyeinek tervezési szempontjai. Gödöllő, 2006. p. 24
- [2] VAS Ferenc – VERMES Pál: Szerviz és gépjavítás létesítményei – a tervezés szempontjai kis- és közepes méretű mezőgazdasági üzemekben. Mezőtúr, 2006. p. 70
- [3] JANIK József et. al: A mezőgazdasági gépek üzemfenntartásának időszerű kérdései. MTA-AMB, Gödöllő, 2003. nov. p. 11 Kézirat
- [4] VERMES Pál (összeáll.): Részjelentés „A mezőgazdasági gépüzemfenntartás fejlesztése, a gépek optimális üzemben tartásának meghatározása” című kutatási témához. Mezőtúr: TSF MFK, 2004. nov. p. 16+mell. Kézirat
- [5] VERMES Pál – VAS Ferenc: Műszaki diagnosztika a mezőgazdasági gépészetben. Gépfenntartási segédlet. Mezőtúr: TSF MFK, 2005. márc. p. 63 + mell. Kézirat

## A LÉGIERŐ TECHNIKAI KORSZERŰSÍTÉSÉNEK NÉHÁNY ELMÉLETI KÉRDÉSE

A publikáció a Bolyai János Kutatási Ösztöndíj támogatásával készült.

A Magyar Honvédség légieréjében továbbra is nyitott az új harcászati repülőgépek végleges beszerzésének kérdése, mivel a Gripenek bérlése csak átmeneti időszakra vonatkozó döntés. A kiválasztás csakis egy jól átgondolt kompromisszum eredménye lehet. A hatékony, nagy harcértékkel bíró repülőgépek drágák, az olcsó eszközök pedig nem biztosítják a harcászati célok elérését. Olyan harcászati eszközt keresünk, amely ár/érték optimum elv alapján kedvező és a beszerzési, vásárlási feltételek is elfogadhatóak az ország gazdasága szempontjából. Röviden megfogalmazva költség- hatékonyság szerint megfelelő haditechnikai eszközt keresünk. A repülőgép beszerzésre vonatkozó döntés jóságát és a fenntartás hatékonyságát úgy lehet csak megmérni, ha kialakítunk egy objektív, egységes mérési eljárást, amelyben az egyes repülőgép típusokat reklám- és propaganda célú mutatóiktól megszabadítva, valódi harcászati értékeik alapján állítjuk sorba.

## A MŰSZAKI TERMÉKEK ÖSSZEVETÉSÉNEK ELMÉLETI HÁTTERE

A haditechnikai eszközök – mint a műszaki eszközök egyfajta speciális kategóriája – rendelkeznek néhány sajátos, a kiválasztásban el nem hanyagolható szemponttal. Új technika rendszerbe állítása, beszerzése estén nem egyszerűen csak egy „vásárlás” a megvalósítandó folyamat.

A kiválasztás viszonylag hosszú időtartamra kb. 40 éves tervezett üzemeltetési intervallumra vonatkozik. Egy ilyen hosszú időszakban a harcászati, műszaki alapkövetelmények előre nem látható módon szinte bizonyosan megváltoznak, a technológiai elavulás akár többször is jelentkezhet, tehát az ilyen helyzetben, különösképpen a beszerzés és a fejlesztés döntési környezetében előtérbe kerülnek az olyan tulajdonságok, melyek a gyártmány és a gyártó azon képességeit mérik, melyekkel behatárolható a továbbfejlesztés lehetősége (1.ábra). A funkciók változásának a bizonytalan ismerete előtérbe helyezi a többfunkciós haditechnikai eszközöket, így a funkciók száma szempontként is szerepelhet.



1. ábra. A harcászati hatékonyság becsült változási tendenciája

A bevezetőben vázolt probléma megoldása egy meglehetősen összetett, úgynevezett többszempontú döntés. A feladat megoldásához az alábbi lépések vezetnek:

#### I. A döntés feladat előkészítése

- cél megfogalmazás
- alternatívák kiválasztása
- szempontrendszer kialakítása

#### II. A döntési feladat megoldása

- az alternatívák kiértékelése szempontonként
- a szempontokhoz súlyszámok meghatározása
- összegzés, értékelés

A többszempontú döntési eljárás kiválasztására általános, egyértelmű szabály nem található a szakirodalmakban (ez is döntési feladat), a konkrét probléma ismeretében lehetséges a legmegfelelőbb módszer meghatározása.

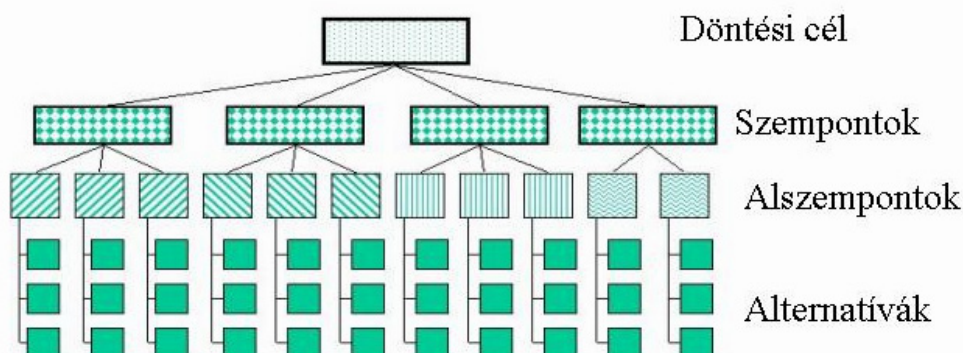
Haditechnikai eszközök összevetésére a vonatkozó szakirodalom az eddigi próbák alapján mintegy 8 numerikus módszert említ, közülük két eljárás emelhető ki:

- KESSELRING eljárás
- AHP (Analytic Hierarchy Process) eljárás

Az első módszer viszonylag egyszerű. Az eljárás az alternatívákat egy ötfokozatú verbális skálán helyezi el minden egyes szempont szerint, ahol a legkedvezőbb fokozat egy ideális berendezés adott szempont szerinti ideális képességét jellemzi. Az ötfokozatú skálán való mérés eredménye alapján  $p_{ij}$  értékekkel pontoz (az  $i$ -edik alternatíva  $j$ -edik szempont szerinti pontértéke és  $p_{ij} \in \{0,1,2,3,4\}$ ). Minden szempontokhoz fontosságukat jellemző súlyszámot rendel ( $\omega_j$ ), ahol  $2 \leq \omega_1 \leq 10$ . Ez az eljárás már alkalmas preferencia sorrend felállítására és a legjobb alternatíva kiválasztására. Figyelembe vehető az egyes szempontok fontossága is.

Hátránya, hogy az alkalmazásához intervallum, illetve arányskálán mért szempontokra van szükség.

Az AHP módszer szerint a döntési probléma az áttekinthetőség érdekében egy többszintű fastruktúráként ábrázolható. A legfelső szinten a döntési cél, az alatta lévő szinteken a szempontok, az alszempontok stb., a legalsó szinten pedig az alternatívák helyezkednek el. A legalacsonyabb szinten lévő szempontokat levélszempontoknak nevezzük. A döntési modell szerkezeti felépítését az 2. ábra mutatja.



2.ábra. Az AHP döntési modell felépítése

Az optimális döntés- mint döntési cél- elérése érdekében a szempontok csoportjába a következő elemek sorolhatók:

*Katonai szempontok*, vagy másképpen a harcászati jellemzők csoportja, amelyek a harcászati - technikai jellemzőkkel mérhetők.

*Műszaki szempontok*: amelyek főleg a légi üzemeltetési és a földi műszaki üzemeltetési oldalt tükrözik.

*Pénzügyi és gazdasági szempontok*: amelyek legfőképpen a rendszerbe állítás, rendszerben tartás költségeit reprezentálják.

Az AHP döntési modellekben a cél mindig az adott alternatívák rangsorának meghatározása. Mivel az értékelési szempontok fastruktúrába vannak rendezve, ezért a szempontok közötti összefüggések is figyelembe vehetők.

A döntési feladat megoldásának lépései:

- a szempontok meghatározása
- a szempontok súlyszámainak kialakítása
- az alternatívák kiértékelése
- a súlyozás és az értékelés összegzése

E felvázolt rendszer szükségessé teszi a főszempontok mellett az alszempontok rendszerét is kialakítani.

## **A korszerű harcászati repülőgépek fő jellegzetességei**

A haderő fegyverzeti rendszereinek kialakításában fontos helyet foglal el a felderítőeszközök, a légvédelmi rakétaeszközök és a légierőben rendszeresítendő repülőgép típus kiválasztása. Alapkövetelményként kell szem előtt tartani, hogy az átfegyverzés eredményeként a légierő képes legyen mind légvédelmi feladatok ellátására, mind szárazföldi csapatok támogatása érdekében végzendő fontos feladatok maradéktalan megoldására, ami lényegében hármas feladatrendszert jelent:

- légi csapásmérést
- önálló célfelderítést
- autonóm légtérvédelmi feladat végrehajtást.

A harcászati repülőgépek jelenleg korszerűnek tekinthető típusai egységesnek mondható követelmények alapján készültek világszerte, amely elvárások az előző időszakokban lezajlott fegyveres konfliktusokból leszármazott tapasztalatokon alapulnak. Röviden összefoglalva az alábbi táblázat mutatja be az elvárt képességet és a képesség biztosításához tartozó, összevetésekben parametrizálható és kiemelten fontos műszaki jellemzőket:

	Elvárt képesség	Az elvárt képességet biztosító műszaki-technikai jellemző
1.	Rövid felszállási hossz	Magas tolóerő-súly viszony utánégetés üzemmódon, magas felhajtóerő növekedés a szárny-mechanizációk révén, kis felületi terhelés, tolóerő-vektor vezérlés.
2.	Gazdaságos utazórepülés és őrzáratózási üzemmód.	Alacsony üzemanyag-fogyasztási mutatók a maximális alatti hajtómű üzemmódokon, magas felhajtóerő/légellenállás viszony-szám (jóság) utazó repülési üzemmódon.
3.	Magas sebesség képessége a légi (földi) cél támadásakor.	Magas tolóerő-súly viszony maximális üzemmódon, kis légellenállású külső fegyverzet, magas $M_{krit.}$ szám.
4.	Kiváló fordulékonyág és elfordulási képesség.	Magas tolóerő-súly viszony maximális üzemmódon, számítógépes hajtómű-vezérlés, magas felhajtóerő/légellenállás viszony-szám nagy túlterhelések mellett, magas kihasználható felhajtóerő-tényező, tolóerő-vektor vezérlés.
5.	Magas lehetséges légi harc időtartam.	Alacsony üzemanyag-fogyasztási mutatók a maximális hajtómű üzemmódokon, magas felhajtóerő/légellenállás viszony-szám nagy túlterhelések mellett, széleskörű fegyver-függesztési változatok.
6.	Gyors erő megjelenítési képesség	Magas tolóerő utánégetés üzemmódon, kis légellenállás magas $M$ -számokon.
7.	Magas fokú túlélőképesség	Lopakodó jelleg, légi helyzet áttekintő képesség és zavarvédelem, sérülésekkel szembeni ellenálló képesség,
8.	Rövid leszállási hossz	Magas felhajtóerő növekedés a szárny-mechanizációk révén, kis felületi terhelés, kilebegtetés szükségletelensége, tolóerő-vektor vezérlés, jó fékezési jellemzők.

Mint látható a fenti áttekintésben viszonylag kevés számú műszaki mutató szerepel. A hajtóművekre vonatkozó teljesítmény paraméterek egyértelműen megállapíthatóak, a repülőgép sárkányszerkezeti jósága azonban közvetve minősíthető. E kérdés megválaszolása a manőverező képesség jellemzésén keresztül történhet meg napjainkban, illetve ezen belül is egy újfajta szemlélet, az energetikai elemzések adnak információt a repülőgépek egymás közti értékelésére.

A repülőgépek hagyományos, technológiai oldalról történő megközelítése esetén az AHP az alszempontok rendszeréhez illeszkedően, a kiválasztott tulajdonságok, jellemzők mérőszámmal történő minősítéséhez a következő az analógia érdekében szintén táblázatban bemutatott, általánosságban kiválasztható paramétereket használhatja fel:



Vizsgált jellemző	Parametrizálható tulajdonságok
Felderítés, (cél-) azonosítás	Pontossága, az egyidejűleg észlelt célok száma és közülük a prioritások meghatározása, stb.
Célzás, tűzkiváltás, rávezetés (ha szükséges)	Távolság, pontosság, megvalósítási módja (aktív, félaktív, passzív) és időigénye, zavarvédetség, repülési helyzettől, magasságtól, sebességtől és túlterheléstől való függetlensége stb.
Megsemmisítés, rombolás	Találati pontosság, rombolás mértéke, egy bevetés során eltalált célok száma, stb.
Harcászati-műszaki és manőver	Hatótávolság és sugár, légi utántölthetőség, együttműködési képesség mértéke saját és szövetséges repülő erőkkel, valamint szárazföldi (hadi-tengerészeti) csapatokkal, fajlagos fegyverterhelés, fegyverzeti függesztmények száma, minősége és variálhatósága, maximális és minimális repülési sebesség, magasság, emelkedőképesség, gyorsulékenység, orsózó, forduló, emelkedő szögsebességek és szöggyorsulások stb.
<b>Üzemeltethetőség</b>	
Vizsgált jellemző	Parametrizálható tulajdonságok
Légi	A repülőgép-vezető ergonómiai környezete, védettsége, tevékenységi autonómiája, automatizáltság (HUD, HOTAS, fly by wire, stb.), fegyvervezérlő és navigációs rendszerek konfiguráltsága, repülőgép-repülőgép és repülőgép-föld adatkapcsolat megléte, minősége, védettsége
Műszaki kiszolgálási, karbantartási, javítási	Különböző technológiai folyamatok előkészítések munkaerő, anyag és időigénye, össz- és javításközi üzemidők, két meghibásodás közötti repült idő, technológizáltság, karbantarthatóság, infrastrukturális szükségletek, állapot meghatározás automatizáltsága, prognosztizálhatósága, alkatrészek, be rendezések felcserélhetősége, a szükséges javítási, karbantartási szintek száma, tábori repülőtéren történő üzemeltethetőség, normál és háborús sérüléses javíthatóság, fajlagos bevethetőségi mutatók, harci bevetésekre való felkészítések munka és időigénye.
Pénzügyi	Repülőtér infrastrukturális felszereltsége, védelme, le-, felszálló pályák geometriai méretei, területi minősége, terhelhetősége és tisztítása

A táblázat rendkívül sok elvileg parametrizálható tulajdonságot tüntet fel, a számítások elvégzéséhez ésszerűen csökkenteni kell a mért és feldolgozható jellemzők mennyiségét.

Ésszerűnek tűnik a különböző szakmai, politikai, gazdasági szakértőkkel folytatott hosszú-hosszú konzultációs időszak végére a következő módon leegyszerűsített AHP modellt felállítani:

Főszempont	Súlyozó érték	Alszezpont	Súlyozó érték	Mérhető jellemzők és értékek
Harcászati jellemzők	0.3-0.35	Önvédelmi képesség	0.34	
		Légi harc jellemzők	0.33	
		Földi célok elleni tevékenység	0.33	
Repülőműszaki-technikai jellemzők	0.25-0.3	Műszaki – technikai adatok	0.2	
		Fegyverzet	0.2	
		Navigáció	0.2	
		Kommunikáció	0.2	
		Túlélő képesség	0.2	
Üzemeltethetőségi mutatók	0.2-0.25	Meghibásodások közötti repült idő	0.3	
		Élőkészítési norma-idő	0.25	
		Automatizáltság szintje	0.25	
		Repülőgép vezetői ergonómia	0.2	
Pénzügyi jellemzők	0.25-0.3	1 repülőgép beszerzési ára	0.4	
		1 repült óra költsége	0.35	
		Repülőtéri infrastruktúra költsége	0.25	

A súlyozási értékek jelzett intervallumban bemutatásával azt kívánom érzékeltetni, hogy az adott szempont fontosságának megítélése mennyire nem egységes a kérdésben vizsgálódó szakértők között. A repülőgép beszerzés terén a politikai, gazdasági, repülő hajózó és repülő műszaki szakemberek véleménye nem egységes, a repülőgépek megítélésének egyértelmű szempontrendszere még nem került közös nevezőre.

A táblázat utolsó oszlopának adatokkal való feltöltése igényli az egyes repülőgép típusok kiemelt adatainak számszerűsítését, egységes rendszerben történő összehasonlítását. A feladat elvégzéséhez elsődlegesen a gyártó által kibocsátott műszaki leírások, gyakorlati aerodinamikai jellemzők és előre meghatározott tesztelési célú repülési feladatokból nyerhetünk információkat. Egyes paraméterek egyértelműen rendelkezésre állnak (pl. hajtómű tolóerő, geometriai adatok, megengedett túlterhelések határértékei, stb.), más jellemzők viszont közvetett módon származtathatóak (manőverező képesség, fordulékonyosság, gyorsulóképesség). További bonyodalmat jelent, hogy az azonos fejlettségi fokú repülőgépek között a különbségek vagy nagyon kicsik, vagy nehezen kimutathatóak a gyártó által rendelkezésre bocsátott anyagokból.

### ***Az összevethetőség érdekében létrehozott értékelési rendszer***

A vadászrepülőgépek energia fenntartó és manőverező képességének fő mutatói két csoportba sorolhatók. Az egyik csoportot az „energia mutatók” képezik, ezek az egyik repülőgép potenciális helyzeti előnyét fejezi ki a másikkal szemben.

A másik csoportba tartoznak a „fordulékonyági mutatók”, amelyek a repülőgép mozgékonyágát jellemzik és a forduló szögsebességét, továbbá az elfordulás idejét mutatják.

#### **Energiamutatók:**

– maximális repülési sebesség;

- minimális repülési sebesség;
- maximális repülési magasság;
- emelkedőképesség;
- gyorsulási képesség;
- fékezési jellemzők;
- fajlagos energia és fajlagos teljesítményfelesleg;

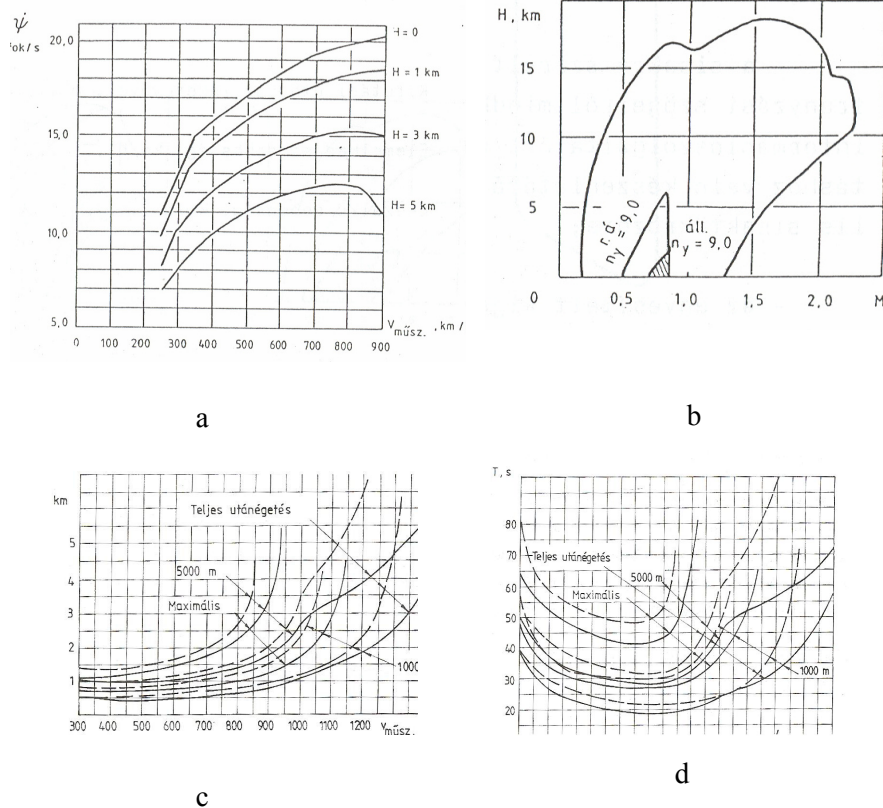
A fenti mutatókra a legnagyobb hatást a repülőgép sarkányszerkezeti kialakítása, és a rendelkezésre álló tolóerő gyakorol.

#### Fordulékonyági mutatók:

- az állandósult forduló szögsebessége és sugara;
- a nem állandósult forduló szögsebessége;

A repülőgépek minősítése a korszerűbb elvek szerint a harcászati feladatok végrehajtásának minőségét jellemzi. Az új, kialakításra kerülő mutató a gyári aerodinamikai jelleggörbék transzformálása alapján keletkezik. E módszer eltünteti a „kedvező fényben” megvilágítás fogást, és a különbözően értelmezett fogalmak lehetőségét. Egységes, azonos körülmények közötti viselkedés mérhető, ábrázolható, elemezhető a vizsgálódók részére.

Az összehasonlíthatóság kiindulási alapja a konkrét repülőgép típus forduló képességére vonatkozó jelleggörbe (3. ábra)



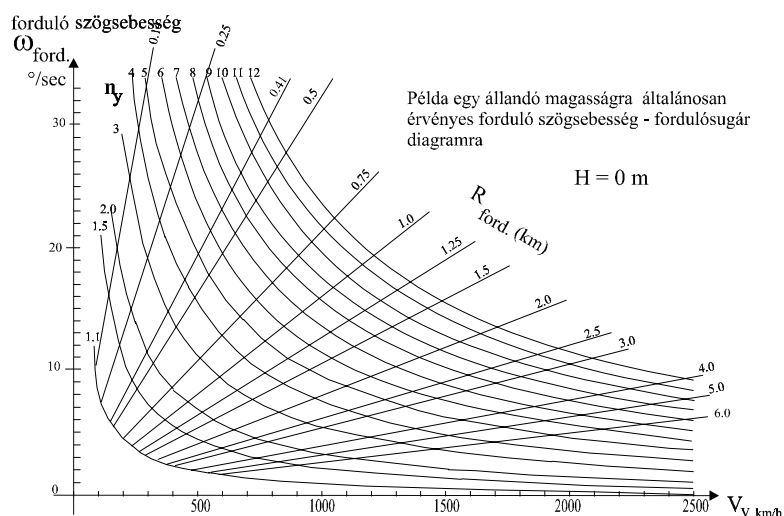
3. ábra. A repülőgép forduló képességét jelképező jelleggörbék

- a – állandósult forduló szögsebesség
- b – rendelkezésre álló maximális túlterhelési zóna
- c – állandósult forduló sugara
- d – a forduló végrehajtásához szükséges idő

Az ábrán látható görbék csak egy konkrét magasságon értelmezettek és csak állandósult forduló esetén. Bármely ettől eltérő esetre korrekcióval érvényes az ábra. A repülőgép valamennyi lehetséges manőveréhez hasonló módon készült jelleggörbék állnak a pilóták rendelkezésére. Az adott típus tanulmányozásához egy terjedelmes kötetre rúgó jelleggörbe mennyiséget kell feldolgozni.

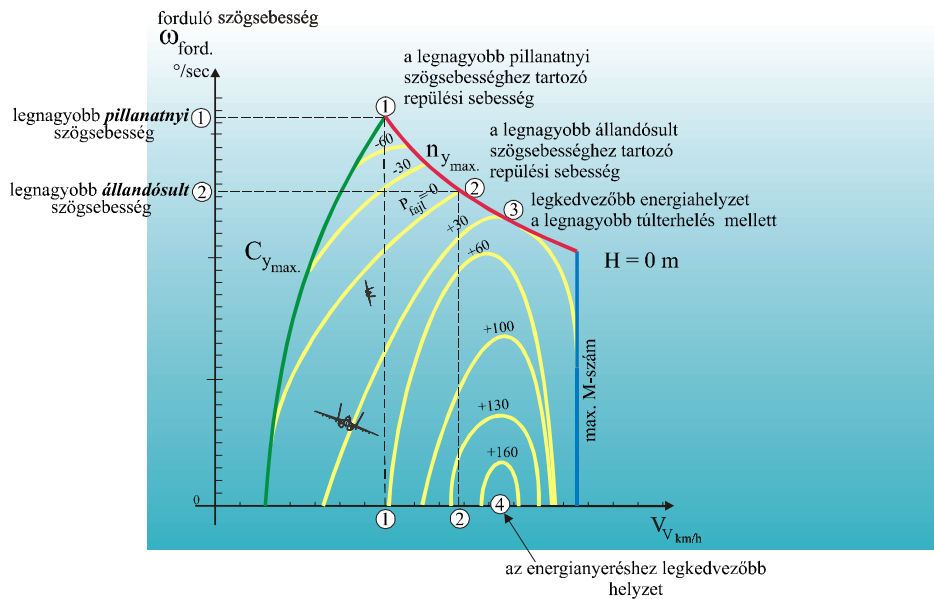
Két (három) repülőgép típus összevetése a többkötetnyi anyag alapos elsajátítása után, a helyesen – helytelenül levont következtetéseken áll vagy bukik.

Egy típus független rendszerben ábrázolva a kiemelten kezelendő minőségi mutatókat jóval könnyebb elemzést, értékelést tesz lehetővé. Az azonos alapon megjelenített grafikus jellemzők egyértelmű információt szolgáltatnak a repülőgép manőverezési lehetőségeiről, képességeiről, gyenge és erős oldaláról. Az első lépés az ilyen egységes alaprendszer megteremtéséhez egy sablon létrehozása a fordulékonyaság ábrázolására (4. ábra).



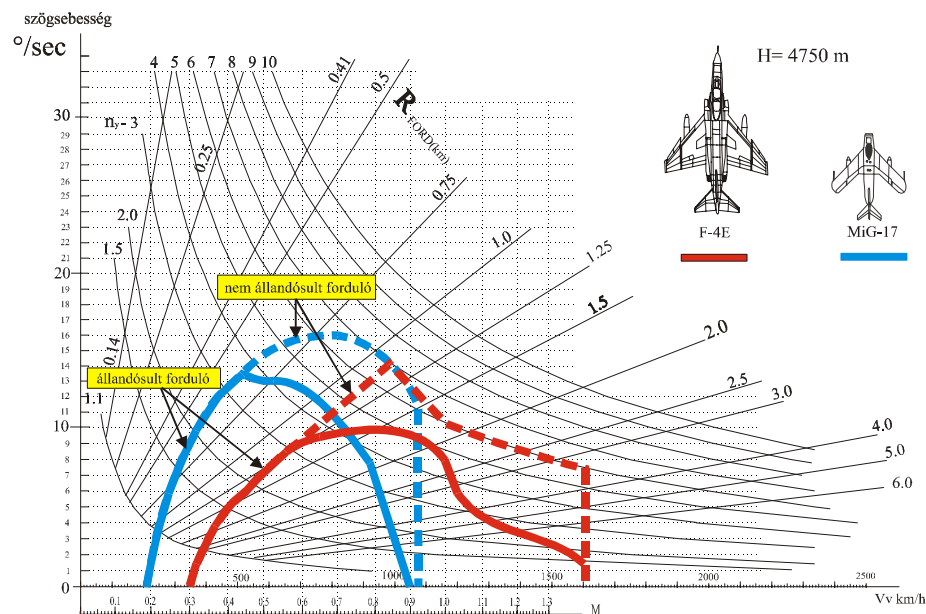
4. ábra. Fordulékonyasági sablon

Az ábrán látható sablonban a következő lépések a vizsgált repülőgép sebesség, túlterhelési és kritikus M-szám szerinti korlátozásait, és az un. fajlagos teljesítményfelesleg görbék behelyezése (5. ábra). A kapott diagramm egyaránt szemléletes képet ad egy repülőgép állandósult és pillanatnyi fordulóképességéről, kimutatja annak légi harcban fontos gyenge és erős oldalait.

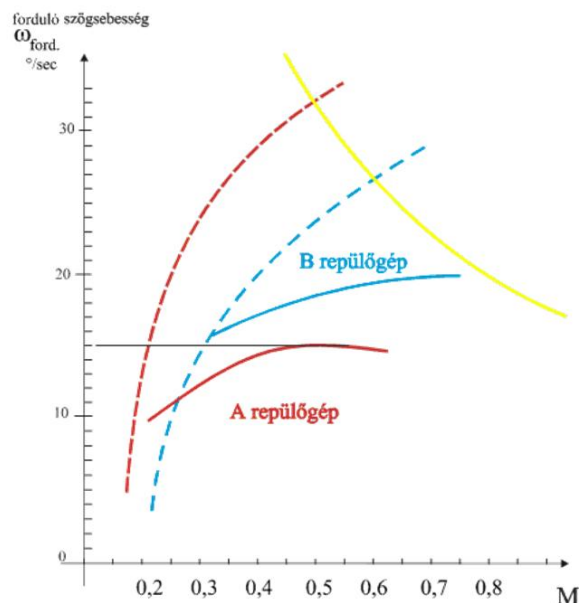


5. ábra. Adott repülőgép fordulékonsági diagramja és kitüntetett pontjai

Az ilyen vizsgálati rendszer végső célja repülőgépek egymással való összevetése műszaki képességeik alapján. Tapasztalatok igazolják az eljárás alkalmazhatóságát, hiszen mind a jelentősen eltérő képességű repülőgépek, mind az azonos műszaki fejlettségi fokon álló és közel azonos repülőtechnikai jellemzőkkel rendelkező eszközök között egyértelműen megjeleníthető a szerkezeti kialakítás különbözőségéből eredő teljesítmény különbség (6. és 7. ábra).



6. ábra. Eltérő fejlettségű repülőgépek fordulékonsága



7. ábra. Azonos fejlettségű repülőgépek fordulékonyágában kimutatható különbség

A kapott jelleggörbék alapján lehetőség nyílik a repülőgépek számunkra előnyös és előnytelen tulajdonságainak kimutatására, sőt a különbségek számszerűsítésére is. A szakemberek objektív analízáló elemzése teszi lehetővé az AHP táblázat számadatokkal történő feltöltését.

A vázolt rendszer azonban még mindig csak az említett táblázat első főszempontjának, illetve a hozzá tartozó alszempontok számszerűmutatóinak előállítására képes. További műszaki-technikai és technológiai, pénzügyi-gazdasági analízisek szükségesek a teljes modell elkészítése érdekében.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkra jellemző gazdasági törekvés minden vállalt részéről, hogy új eszközök beszerzése vásárlása előtt igyekszik minél több és hiteles információt beszerezni az érdeklődési körébe eső termékekről. Minél bonyolultabb a rendszeresítendő gép vagy éppen rendszer, annál nehezebb a reális előzetes értékelés. Katonai eszközök esetében külön nehézséget jelenthet a „Titkosítás” alá eső teljesítmény adatok megkérése. A korszerű gazdasági döntésmechanismusok vonatkozó eljárásainak átültetése, a többszempontos döntésmélet módszereinek alkalmazása révén úgy tűnik jó eséllyel előzetes értékelés készíthető a beszerzési eljárás korai fázisában is. A harcászati repülőgépek új elveken történő értékelése lehetőséget ad a korszerű repülő eszközök közötti kis különbségek kimutatására is.

### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1.] HILLER, F.S. - LIEBERMANN, G.J.: Introduction to Operation Research, Holden Day Inc. 1986.
- [2.] BASAK, I. - SAATY, T.L., : Group the analytic hierarchy process, Mathematical Computer modelling 17 (1993)
- [3.] GYARMATI, J. - KENDE, Gy. - RÓZSÁS, T. - TURCSÁNYI, K., Haditechnikai eszközök összehasonlításának korszerű módszerei és ezek alkalmazása, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Tanulmány, Budapest, 2002
- [4.] VARGA, F.: A légi harc változása az I. világháborútól napjainkig, Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem, Phd értekezés, Budapest, 2001
- [5.] RAPCSÁK T: Többszempontú döntési problémák, MTA Számítástechnikai és Automatizálási Kutató Intézet, Budapest, 2003

## BIZONYTALANSÁG ÉS KOCKÁZAT A TECHNIKAI RENDSZEREK ÜZEMELTETÉSÉBEN

### 1. BEVEZETÉS

A műszaki menedzsment döntései különböző — pozitív vagy negatív előjelű — eredményeket képeznek vagy képezhetnek. A döntéshozóknak mind morális, mind szakmai szempontokat figyelembe kell venniük, ez velük szemben alapvető követelmény. Az egyik ilyen morális kérdés egy meghatározott problémával kapcsolatos döntés során, majd a végrehajtásakor fellépő kockázat és bizonytalanság meghatározása, kezelése és lehetséges csökkentése.

A kockázat és a bizonytalanság becslésére objektív és szubjektív módszerek állnak rendelkezésünkre. Az első esetben szükség van megbízható adatforrásra vagy kellő méretű (statisztikai) adathalmazra, időre, technikai hátérre, amelynek feldolgozását matematikai eszköztárak biztosítják. Szubjektív döntés esetében a döntéshozó alapvetően tudására, az intuícióira, tapasztalatára, egyéni preferenciákra támaszkodik. Ezért olyan módszertani eljárások kidolgozása szükséges, amelyek alkalmazásával a döntéshozó megismeri a lehetséges kockázatokat és bizonytalanságokat, valamint képes azok kezelésére, elkerülésére, csökkentésére. A döntéshozó személynek szüksége van egy olyan objektív ítéletalkotásra, amely során a fellépő kockázatokat a lehetőség szerint legpontosabban fel tudja mérni és ezek hatásait el tudja kerülni, vagy minimális szintre képes csökkenteni.

A tanulmány célja a hazai és nemzetközi szakirodalmak feldolgozása, összegzése és szakmai értékelési alapján a kockázat- és bizonytalanságkezelés lehetséges alkalmazási területeinek bemutatása a műszaki menedzsment tevékenysége során.

A cikk az alábbi fejezetekből áll: a 2. fejezet a kockázat és bizonytalanság különböző értelmezéseit mutatja be, a 3. fejezetben a kockázatelemzés módszereit ismerheti meg az Olvasó, a 4. fejezetben bizonytalanság elemzési módszerek olvashatók, az 5. fejezet kockázatbecslés során fellépő bizonytalanságokat, azok lehetséges kezelési eljárásait mutatja be, 6. fejezet a kockázatkezelés szerepét ismerteti röviden a műszaki menedzsment tevékenysége során, a 7. fejezetben a tanulmány összegzése olvasható.

### 2. A KOCKÁZAT ÉS A BIZONYTALANSÁG ÉRTELMEZÉSE

A kockázat és a bizonytalanság, illetve a hozzájuk kapcsolódó etikai problémák napjaink tudományának legvitatottabb kérdései közé tartoznak. Az sohasem képezte vita tárgyát, hogy mindkettő hatással van a gazdasági, műszaki, politikai vagy társadalmi döntésekre, de főleg a kockázat leírásakor a hatás előjelét illetően — miszerint a vizsgált esemény lehetséges kívánatos és nemkívánatos kimeneteleit is figyelembe veszik az elemzés során — érezhető változás ment végbe az utóbbi néhány évtizedben [3].

A kockázat tudományos vizsgálata XX. században kezdődött el, bár a klasszikus szerencsejátékokkal kapcsolatban már a XVII. században is voltak matematikai alapú kockázati megfontolások, amelyek később a valószínűség számítás kialakulásához vezettek. A kockázat különböző meghatározásaiban közös vonás, hogy mindegyik a kockázatot elsősorban a bizonytalansággal kapcsolja össze. Például WILLET meghatározása: „*a kockázat egy nemkívánatos esemény bekövetkezésének objektív bizonytalansága*” [12].

KNIGHT a múlt század húszas éveiben már megkülönbözteti a kockázatot és a bizonytalanságot. Úgy vélte, hogy kockázatos az, ami ellen valamilyen módon lehet védekezni, mert ismerteknek tételezhető fel a lehetséges kimenetek és azok valószínűségi eloszlása. A bizonytalanság ellen –

véleménye szerint – viszont nem lehet védekezni, mert a kimenetek valószínűségi eloszlása nem ismert.

A bizonytalanság fenti, „knighti” fogalmát strukturális bizonytalanságnak is szokás nevezni, ami azt jelenti, hogy a döntéshozó nem tudja meghatározni vagy felbecsülni a lehetséges kimeneteket vagy alternatívákat. A bizonytalanság gyengébb formája az úgynevezett parametrikus bizonytalanság, ami akkor áll fenn, ha a döntéshozó képes meghatározni minden lehetséges kimenetet, de azt nem tudja, hogy ezek közül melyik fog bekövetkezni. Ilyen típusú bizonytalansággal találkozhatunk a mérnöki gyakorlatban például a gyártási tűrések, paraméter-eltérések és hatásaik elemzésekor [12].

KNIGHT a kockázat és bizonytalanság tekintetében tett megkülönböztetése, bár sokan vitatták és vitatják, mindenképpen nagy jelentőségű, ahol a különbség a valószínűségi kimenetekhez rendelhetősége értelmében áll fenn. Ezzel kapcsolatban KEYNES az alábbiakat írta:

*„A 'bizonytalan' ismeretével kapcsolatban megjegyezhető, hogy nem tennék különbséget a bizonyosan ismert s a csupán valószínű között. A rulett játék eredménye ebben az értelemben nincs kitéve bizonytalanságnak. A kifejezést abban az értelemben használom, hogy az európai háború kilátása bizonytalan, avagy a réz ára és a kamatláb húsz év múlva milyen lesz. Ilyen esetekben nincs tudományos alap bármilyen valószínűség számításához. Egyszerűen nem tudjuk.” [3]*

KEYNES véleménye szerint, az ismeret hiányának vagy részleges birtoklásának döntő szerepe van a kockázat, illetve a bizonytalanság definiálásában.

MACGILL és SIU szerint az alábbi megállapítások tehető a kockázat természetével kapcsolatban, amik — véleményük szerint — nem eléggé ágyazódtak még bele a jelenlegi kockázati paradigmákba [7]:

- (1) az emberek tudása az, ami meghatározza a kockázati kérdések érzékelését, definiálását és becslését;
- (2) a kockázati kérdések fizikai és szociális értékek és tulajdonságok kombinációja;
- (3) a kockázati kérdések bizonytalansági és felelőségi problémákat vonnak maguk után;
- (4) a kockázati kérdések valójában dinamikusak, jellegük időben, valamint a földrajzi és kulturális térben változnak;
- (5) a kockázatkezelési intézkedések hatékonysága a felhasznált (természet- és társadalomtudományi) ismeretek színvonalán és belső összhangjukon alapszik.

### 3. A KOCKÁZAT ELEMZÉSE

A kockázatelemzés célja a döntéstámogatás biztosítása — egy adott döntéshozatali környezetben — a kockázat elemzésével, leírásával és kommunikálásával valósulhat meg. Ezek a feladatok meghatározzák a kockázatelemzés területét vagy diszciplináját: elvek, módszerek és modellek kidolgozása ezen célok érdekében [2].

A kockázat elemzésekor fontos szempont, hogy elvileg valós, számított és becsült jellemzőket kell figyelembe vennünk. A háromféle információtypust — MIKULA szerint — csak külön-külön szabad kezelni. Például valós adatokat nem szabad a számítottakkal összevetni [9].

Kockázatelemzés során számos, különböző típusú modell alkalmazhatunk. Ezek lehetnek egyaránt úgynevezett mennyiség- és eseményorientált modellek.

Az úgynevezett mennyiségorientált modellek célja az  $X = (X_1; X_2; \dots X_n)$  jellemzők halmazával és egy  $C = f(X)$  függvénnyel meghatározni egy megfigyelhető  $C$  jellemző értékét. A kapcsolatot leíró  $f$  függvényt az általánosan elfogadott lényegi modellek alapján állítjuk fel, természettudományi, mérnöki, tapasztalati tudás és más, a vizsgált rendszerrel, folyamattal kapcsolatos intuitív hipotézisek alapján.

Amíg a mennyiségorientált modellek a függvényösszefüggéseket írják le a rendszertényezők  $X$  halmaza és a vizsgált rendszer egy  $C$  jellemző értéke között, az eseményorientált vagy logikai modellek azokat a feltételeket írják le, melyek következtében az adott esemény bekövetkezhet. Ezek a



modellek a körülmények és logikai fogalmak kompozíciója, és általában bináris eredménytérrel bírnak, mint például „0–1”, „hibás–nem hibás”. A logikai modellek magukba foglalhatnak fizikai modelleket, más logikai modelleket vagy segédmodelleket is. A kockázati modellekben a logikai modelleket írják le, hogy egy kezdeti esemény az alacsonyabb rendszerszintnél hogyan képes kialakítani egy emberi életet, egészséget, környezeti, gazdasági vagy valamilyen más értékeket fenyegető, azaz egy kockázati, eseményt. Ezért ezek a modellek gyakran állnak kapcsolatban a rendszerbe beépített speciális korlátokkal. A logikai modellek három alappéldája létezik a kockázat és megbízhatóság elemzése területén.

Az

$$F = 'X_1 - X_2 < 0' \quad (1)$$

egyenlet azt írja le, hogy egy  $F$  meghibásodás a terhelés–teljesítőképesség arányában következik be. Azaz  $F$  akkor következik be, amikor az  $X_2$  terhelés nagyobb értéket vesz fel, mint az  $X_1$  teljesítőképesség.

Az

$$F = A \cup B \quad (2)$$

egyenlet egy kételemű soros (1.b ábra) rendszer meghibásodásának  $F$  feltételeit írja le, azaz azt, amikor az egyik ( $A$  vagy  $B$ ) meghibásodása mindkettő leállását okozza.

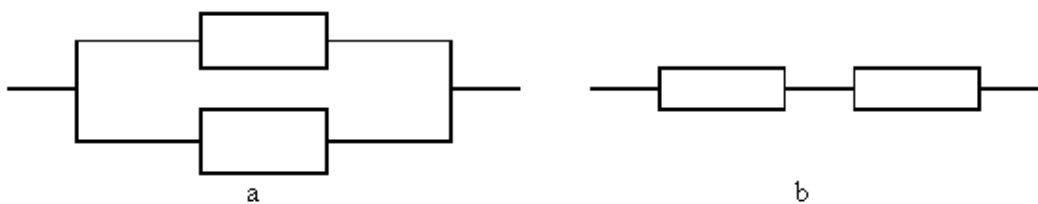
Hasonló módon a (3) egyenlet kételemű párhuzamos rendszer (1.a ábra) meghibásodását szemlélteti, amikor a rendszer leállását mindkét elem meghibásodása okozza.

$$F = A \cap B \quad (3)$$

Egy összetett rendszer meghibásodását pedig az alábbi egyenlet írja le:

$$F = [f_1(\mathbf{X}) < 0 \cup f_2(\mathbf{X}) < 0] \cap f_3(\mathbf{X}) < 0 \quad , \quad (4)$$

ahol az  $f_i$  függvényeket a rendszer korlátai és fizikai törvények alapján írhatók fel.



1. ábra Párhuzamos (a) és soros (b) kapcsolású rendszerek

A kockázatelemzők és a statisztikusok előszeretettel alkalmaznak úgynevezett valószínűségi modelleket a megfigyelhető értékekkel kapcsolatos kockázatok, bizonytalanságok becslésére.

Az  $A$ -hoz (egy  $A$  eseményhez) kapcsolódó valószínűségek megadásához az összes ismert tény alapján egy közvetlen felsorolást lehet használni. Mivelhogy ez az ismeret gyakorta komplex, sokdimenziós, és sokszor a háttér információkban sok elhanyagolható irrelevancia található, az ilyen megközelítést gyakran felváltják a „valószínűségi modellek” alkalmazásával, ami egy mód a háttér információk csökkentésére, hogy azok kezelhetők legyenek.

Vegyük azt, hogy az  $A$  esemény azt jelenti, a rendszer nem funkcionál a  $t$  működési idő után. Feltételezzük, hogy rendelkezünk az adott rendszer egy megfelelő (statisztikai) sokaságával és egy, ezen sokasághoz kapcsolódó  $F(t)$  függvénnyel azt jellemezhetjük, hogy ezek a rendszerek nem

működnek  $t$  működési idő után. Mint az  $F(t)$  modellje, az általános üzemeltetési tapasztalat alapján feltételezhetjük és bevezethetjük, hogy az exponenciális eloszlású, azaz:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}, \quad (5)$$

és az idő- vagy teljesítményegység alatti meghibásodások számával kapcsolatos bizonytalanságunkat  $\lambda$  paraméterrel, a meghibásodási rátával, becsüljük. Ezt az egyszerű modellt úgynevezett Bayes-i eljárással kell megoldanunk. Először a  $\lambda$  bizonytalansági eloszlásának meghatározásával, majd — amikor az adat alkalmassá válik a későbbi eloszlás meghatározására és a jellemző működési idő előrejelzésére —, a

$$P(T \leq t) = \int 1 - e^{-\lambda t} dH(\lambda) \quad (6)$$

egyenlet alkalmazásával, ahol  $H(\lambda)$  a  $\lambda$  előzetes vagy későbbi eloszlása.

Ez egy általános mód a működési idő ingadozásának exponenciális eloszlására való hivatkozásra, mint véletlen bizonytalanság, így  $H$  egy — az ismeretek hiányából adódó — bizonytalanságot jelent.

Összességében a kockázatelemzés lényegében megfelelő elméletek, módszerek és modellek bevezetése a kockázat becslése és leírása érdekében, valamint ezek alkalmazása a kockázat becslése, kommunikálása és kezelése céljából.

De mit értünk a „megfelelőn”? Ez egyértelműen nem megmondható, de a következő követelmény-felsorolás — többek között — lényegében választ ad erre a kérdésre:

- (1) az elemző csoport alaposan ismerje a vizsgált rendszer vagy folyamat működését, a döntéshozatali eljárást és a környezetet;
- (2) az alkalmazott modellek kellően pontosan reprezentálják a vizsgálat tárgyát, melyek pontosságát fel kell becsülni;
- (3) az összes megfigyelt mennyiség, alkalmazott fogalom pontosan definiált legyen;
- (4) a kockázat, és a hozzá kapcsolódó bizonytalanság jelentései teljesen megértettek és következetesen kezelték legyenek;
- (5) a becsléshez felhasznált háttér információk egységesen dokumentáltak legyenek.

A természet- és társadalomtudományi paradigmák egy platformot biztosítanak a kockázatelemzési modelleknek. Az ilyen modellek „jóságát”, mint a világ (a modellezett rendszer vagy folyamat) ábrázolását szükséges leírni. Az elemző nem használhat olyan modellt, mely nem bír megfelelő pontossággal. Egyensúlyt kell teremteni, egyszerűsíteniünk kell a modellt, úgy, hogy végül egy olyan eszközt kapjunk, melyet a kulcsfontosságú tényezők szemléltetésére tudunk alkalmazni, de ennek eredményei kevésbé lesznek pontosak. Jónak az a legegyszerűbb modell tekinthető, mely a modellezés céljából, az elemzés szempontjából elegendő pontosságú információt ad a modellezett rendszerről vagy folyamatról. Így a modell jóságát mindig az elemzés céljának függvényében kell vizsgálnunk.

Amikor egy ember-gép rendszer kockázatát elemezzük, az emberi és szervezeti tényezőket is számításba kell vennünk. Az emberi és szervezeti tényezőket tükröző társadalomtudományi elvek a kockázati modellek egy másik platformját alkotják, melyek esetén elvileg nincsenek különbségek a természettudományi paradigmákhoz képest.

Nagyon nehéz általánosan részletes leírást adni, hogy mi a megfelelő modell, milyen pontossággal kell bírni a modellnek, hogy elfogadható legyen.

## 4. A BIZONYTALANSÁG ELEMZÉSE

A bizonytalanság elemzésének leginkább alkalmazott módja a forgatókönyvek alkalmazása. A „mi lenne akkor, ha” scenario készítését sok területen alkalmazzák [16]. A forgatókönyv az események egy feltételezett egymásutánja, amit ok-okozati összefüggések elemzésével készítenek. Ekkor a fő bizonytalansági vagy esetleg kockázati változókat globálisan becsüljük meg, a változók közti kapcsolatokat is figyelembe véve a különböző szerkezetű, lehetséges jövőbeli eseményláncokat vázoljuk fel. Általában lehetséges nyelvi besorolással kell leírni a forgatókönyveket, mely megmutatja a forgatókönyv meghatározásának holisztikus természetét.

A forgatókönyvvvel kapcsolatos alapelvek nem követelnek meg valószínűségi eloszlásokat. Noha a legvalószínűbb forgatókönyv fogalmát valamilyen kvalitatív módhoz felhasználva, az eltérőnek minősített – ami általánosan azt jelenti, hogy a többi, kevésbé lehetséges — forgatókönyvet elvethetjük.

Mivel a forgatókönyvek az események, adatok és paraméterek lehetséges (jövőbeli) esetei, így egy hatásmodell mindig szükséges a megközelítés használhatóvá tételéhez, eszközöket biztosítva egy döntés következményeinek meghatározásához a különféle lehetséges forgatókönyvek szerint. Ezek a hatások leírhatók egyszerű tulajdonságokkal (például a költség) vagy összetett jellemzőkkel.

A parametrikus bizonytalanság tudományos szintű elemzése alapvetően két eltérő módon oldható meg [6].

Az első mód a környezet és az eredmény meghatározása intervallum értékekkel. Ezen eljárási mód annak figyelembevétele, hogy néhány vagy az összes paraméter értéke nem egy adott értékkel rendelkezik, hanem bizonyos intervallumon belül található. Általános megfogalmazásuk esetén az intervallumokhoz nem kapcsolnak valószínűségi eloszlásokat, csak a lényegi eredmények lehetséges jövőbeli értékeit határozzuk meg. Erre példa a [14] irodalom, amely a lehetséges gyártási paraméter-eltérések hatásainak egy módszerét írja le a teljes rendszer kimenőjellemzőinek eltéréseire.

Ha csak egy paraméter értéke bizonytalan, annak a megfelelő intervallumát kell figyelembe vennünk, mint a forgatókönyv egy végtelen halmazát. De, ha több paramétert kell figyelembe vennünk, független kimenetek keletkeznek, mivel több változó korrelált lehet. Ezért a független feltételezések sok esetben az extrém értékek irreális kombinációihoz vezethetnek.

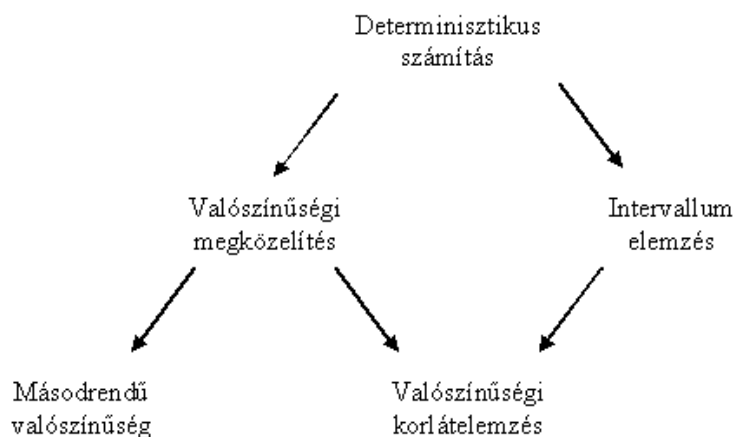
A másik módszer a környezet minden eleméhez való valamilyen valószínűségi eloszlás rendelése. Valószínűségek rendelése a forgatókönyvekhez egy általánosan alkalmazott gyakorlat, noha ilyenkor az sem ritka, hogy az úgynevezett szubjektív valószínűségekkel találkozunk, ami a szakértők (vagy bizonyos esetekben a laikusok) által becsült valószínűségi értéket jelent. Néhány esetben ezeket a szubjektív valószínűségeket, mint intervallumokat adják meg, ilyenkor úgynevezett másodrendű bizonytalansági modellekről beszélünk.

Gyakoribb esetben, ha az adatok valószínűségi eloszlásai ismertek, elméletileg megtudhatjuk mindegyik alternatíva következményeinek eloszlását is. Ez egy egyszerű kritérium esetén a vizsgált rendszer vagy folyamat kvalitatív tulajdonságának valószínűségi eloszlását jelenti.

Például egy determinisztikus vizsgálati modell esetén, amikor a modell valamilyen bizonytalansággal bír a kalkuláció során használt valós értékű mennyiségekkel kapcsolatban, a bizonytalanságelemzés intervallumelemzéshez vezethet. A valószínűségi módszerek, mint például a Monte Carlo szimuláció, alkalmazása szintén felhasználhatók egy determinisztikus modell parametrikus bizonytalansági elemzéséhez, mert az egy adott pont körüli lehetséges értékek valószínűségi eloszlását adja.

Természetesen, az olyan vizsgálatoknál, ahol kívánatos a bizonytalanság elemzése, az alkalmazott modellek nem mindegyike determinisztikus. Ezek döntő része „majdnem valószínűségi”, a modern kockázatelemzések és biztonsági becslések döntő részénél. Ekkor a valószínűségi számítások valószínűségi bizonytalanságelemzéséhez, az eredő elemzés pedig egy úgynevezett másodrendű valószínűségi becsléshez vezethet. Az ilyen tanulmányok elvégzése bonyolult lehet, a megkövetelt nagy számítási műveletszám miatt. Szintén jelentős problémát okozhat az eredmények könnyen értelmezhető szemléltetése is.

Alternatívaként használhatunk korlátozási megközelítést a valószínűségi számításokhoz is. Ekkor a valószínűségi eloszlások intervallum típusát kapjuk. Ezt a technikát valószínűségi korlátelemlzésnek (PBA — Probability Bounds Analysis) nevezzük. Ez a megközelítés valószínűségi eloszlásokkal kapcsolatos bizonytalanságát jellemzi egy, a határeloszlás függvény-párban fekvő úgynevezett kumulatív eloszlásfüggvények halmazával.

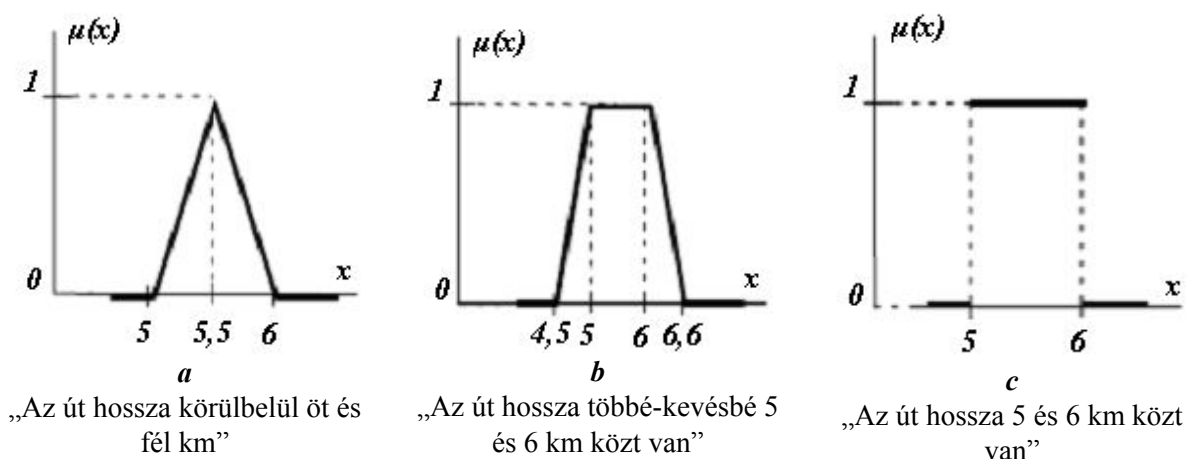


2. ábra Az eltérő bizonytalanságelemzési módok [6]

Ha az adatok száma nem elegendő a statisztikai elemzésekhez, így a valószínűség számítás alkalmazásához, analógiák alapján fel lehet tételezni az eloszlás jellegét, de ennek már szubjektív jellege van. Kellő tapasztalattal az eloszlás lehetséges alsó és felső határait ki lehet jelölni. Ez utóbbi vezet a valószínűségi korlátelemlzéshez.

A 2. ábra a fent említett lehetséges elemzési módokat, benne a nyilak a módok fejlődését szemlélteti.

Egy viszonylag új út a kiegészítő információk bizonytalansági modellekbe történő beépítésére a fuzzy halmazelmélet alkalmazása, amikor nem statisztikai adatokkal rendelkezünk az adatokkal kapcsolatos szakértői vélemények kvalitatív leírásai vagy az alternatívák következményeinek értékelésére.



3. ábra Lehetséges tagsági függvények

Az intervallumok alkalmazása a bizonytalanság leírásában egy speciális esete a fuzzy értékeknek, amikor nem rendelkezünk járulékos információval a lehetséges értékek halmazával kapcsolatban [8]. Ezt szemlélteti lényegében a 3.c ábra. Másrészt egy egyetlen fuzzy érték nem fejez

ki bizonytalanságot, vagyis akkor az valós érték.

A fuzzy tagsági függvény egy leképezést valósít meg a vizsgált terület alaphalmazbeli (univerzumbeli) értékei és a  $[0,1]$  intervallum között. A  $\mu(x)$  tagsági függvény annak kifejezése, hogy az  $x$  univerzum-elem milyen mértékben (és nem valószínűséggel!) tartozik egy nyelvi értékkel leírt csoportba, halmazhoz.

A legegyszerűbb és leggyorsabban számítható görbék a háromszög és a trapéz, ezek egyenes szakaszokból épülnek fel [13].

A fuzzy halmazelmélet alkalmazása esetén is az előző bizonytalansági modellekhez hasonlóan, ekkor is szükséges egy hatásmodell.

A 3. ábra fuzzy tagsági függvényeket szemléltet a hozzájuk köthető nyelvi megfogalmazásokkal együtt.

## 5. BIZONYTALANSÁG A KOCKÁZATBECSLÉSBEN

A kockázatelemzés mindig része a döntéshozatalnak. Mint kockázatelemzőknek, fontos azt tudnunk, hogy mely eszközök alkalmazhatók az adott döntéselemzés során és az alternatív megközelítéseknek melyek a metodológiai és gyakorlati erősségei, illetve korlátjai.

A kockázat egyik eleme a valószínűség, mely objektív vagy szubjektív meghatározottságát a döntéshozó tudása (vagy annak hiánya) egyértelműen befolyásolja.

Az objektivista szemlélet legjelentősebb követő eszméje volt a MISES és REICHENBACH által képviselt „relatív gyakoriság” nézete. Eszerint egy adott esemény valószínűsége valamely kísérletben, az esemény hasonló kísérletek végtelen láncolatában történő bekövetkezésének relatív előfordulása. Bizonyos értelemben a relatív gyakoriság gondolata kapcsolódik JACOB BERNOULLI úgynevezett „nagy számok törvényéhez”. Ez azt jelenti, hogy ha egy esemény  $k$  alkalommal megtörténik  $n$  azonos és független kísérlet során, akkor — ha a kísérletek számát önkényesen nagynak választjuk —, a

$$P = \frac{k}{n} \quad (7)$$

arány elvileg egészen közel lehet ama esemény „objektív” valószínűségéhez.

Ha az elegendő adat alkalmassá válik, a valószínűségi hozzárendelések közti egyensúly megvalósulhat, de nem feltétlenül, mivel a mindig szubjektív elemek beépülnek a becslési folyamatba. Éles különbséget nem lehet tenni az objektív, reális kockázat és az érzéklet kockázat között.

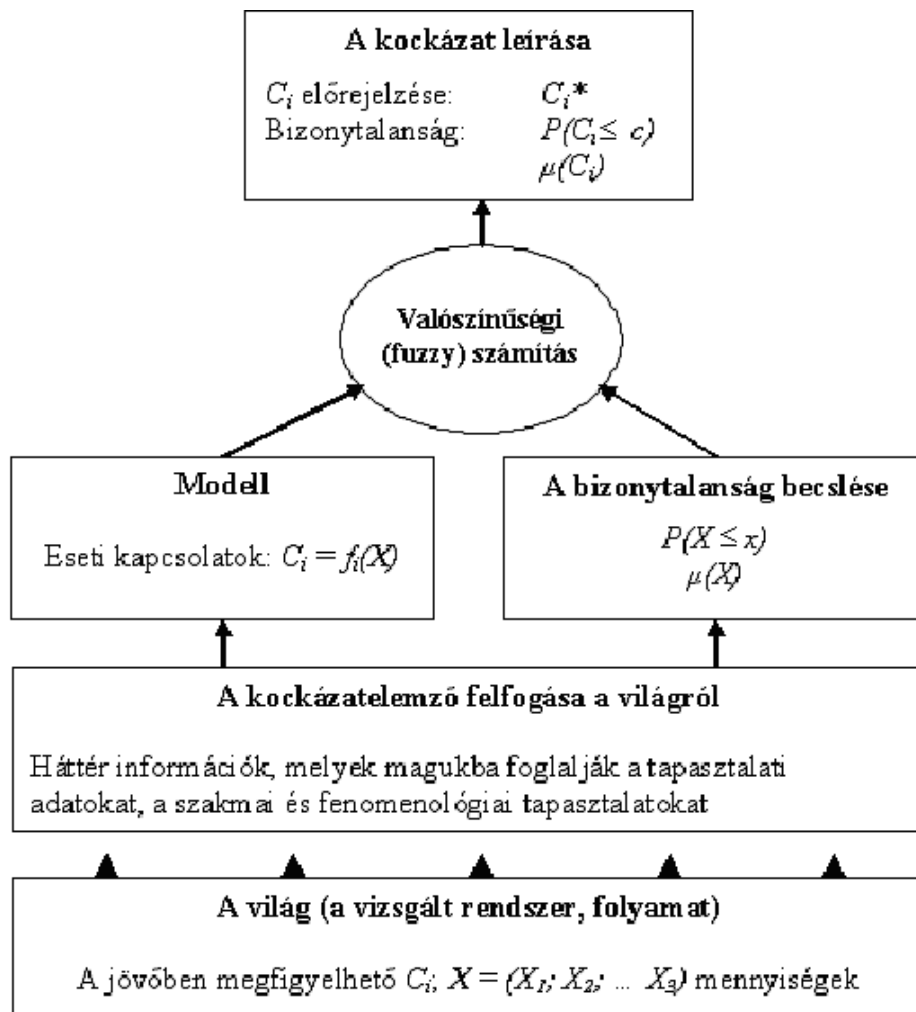
Bayes-i környezetben megtalálhatóak a kockázatelemzés főbb elvei, melyeket a 4. ábra szemléltet. Az alapelvek:

- (1) helyezzük a középpontba a világ (a vizsgált rendszer vagy folyamat) mennyiségileg kifejezhető állapotait, például a fizikai valóság és a természet mennyiségei az elemzés időpontjában legyenek megfigyelhetők;
- (2) a megfigyelhető értékek legyenek előrejelezhetők;
- (3) annak a bizonytalanságát, hogy mely érték megfigyelhető a valószínűségek átlagával fogják kifejezni (ez a bizonytalanság a tudás hiányának eredménye).

A 4. ábra az alábbi módon értelmezhető: Egy kockázatelemző (vagy egy elemző csoport) végzi a kockázatelemzést. A középpontban a világ van, és parciálisan néhány jövőben megfigyelhető  $C_i$ ;  $X = (X_1; X_2; \dots X_3)$  érték írja le a világot, rendszert vagy folyamatot. Az elemző a kérdésköréről szerzett tudása alapján egy (vagy több) modellt állít fel, mely leírja a kapcsolatot a  $C$  átfogó rendszerteljesítmény mérték és  $X$  mennyiség között, mely a részletesebb szintű értékek vektora. Az elemző becsli az  $X$  vektor bizonytalanságát, melyet egyszerűsíteni kell a becslés során. Ilyen egyszerűsítés például az  $X_i$  jellemzők közötti függetlenség feltételezése. Valószínűségi számításokat vagy a fuzzy halmazok elméletét alkalmazva, az  $X$  bizonytalanságának becslése az  $f$  modellel együtt,

adja az elemzés eredményét, például a  $C$  valószínűségi eloszlását és előrejelzését.

AVEN véleménye szerint, az  $X$  vektor értékei bizonytalanságának meghatározásához valószínűségi modelleket vezethetünk be, és Bayes-i eljárásokat alkalmazhatunk, mely valószínűségi eloszlásokat konzisztens módon bevonják a megfigyelt adatok számításába. Ezen nézettel vitatkozva, jelen sorok írója azt vallja, hogy a kockázat becslése során a szakértők (vagy a laikusok), mint a nem kívánt esemény bekövetkezési valószínűségével, mint a következményével kapcsolatos véleményének modellezéséhez, a fellépő bizonytalanságok becsléséhez, kezeléséhez a fuzzy halmazok elméletének alkalmazása is megfelelő módszer lehet. Ezt jelzi a 4. ábrán a fuzzy logikával kapcsolatos kiegészítések a [2] irodalomból átvett logikai diagramban.



4. ábra Előrejelző megközelítésű kockázatelemzés főbb elemei

Kiegészítve AVEN megfogalmazását, a kockázatelemzés tudományos alapjai az alábbiakkal összegezhetők:

- (1) a rendszer teljesítményéről, és a hozzá kapcsolódó megfigyelhető értékekről való ismeretek leírhatók, modellek, megfigyelt adatok és a szakértői (adott esetekben laikus) vélemények alapján;
- (2) A folyamatos bizonytalanságbecslés a valószínűségi szabályok vagy a fuzzy halmazok elméletének alkalmazásával.

## 6. A KOCKÁZATKEZELÉS SZEREPE A MŰSZAKI MENEDZSMENT MUNKÁJÁBAN

A műszaki menedzsment feladata a technikai eszközök kifejlesztésének, gyártásának, rendszerbe állításának, rendszerbentartásának tervezése, szervezése, vezetése és irányítása. Ez tartalmazza a kutatást, fejlesztést, beszerzést, rendszerbe állítást, a rendszerbentartást és a rendszerből való kivonást is. A feladat meghatározásából adódik, hogy a menedzsmentnek a megvalósítás érdekében (a célok meghatározása, elérési módjainak kiválasztása stb.) folyamatosan döntenie kell, amelyek rövid és hosszú távon érvényesülő közvetlen és közvetett hatásokat eredményeznek. A döntések alkalmával kockázatokat kell vállalni, amelyek mind objektív mind szubjektív tényezők befolyásolnak. Ezen tényezők a következőkben foglalhatók össze [12]:

### ***Rendszerbeállítás során:***

- az adott technikai eszköz műszaki, technikai paraméterei;
- speciális és általános feladatok végrehajtására vonatkozó alkalmasság;
- gazdasági és gazdaságossági mutatók.

### ***Rendszerbentartás során:***

- az adott eszköz teljesítménymutatója, javítási és karbantartási igénye;
- a javítás, karbantartás technológiája, valamint a folyamat során keletkező veszélyes és szennyező anyagok;
- a rendelkezésre álló, a javítást, karbantartást végző személyek szakmai felkészültsége.

### ***Rendszerből való kivonás (kiselejtezés) során:***

- az újrahasznosítás lehetőségei;
- a bontás, szétszerelés során keletkező környezet szennyező anyagok fajtái, mennyiségük, kezelhetőségük.

A felsorolt tényezők térben és időben, a végrehajtandó feladatok függvényében más és más döntési módokat igényelnek. A környezetet ért hatásokat sok esetben, mint másodlagos tényezőket értékelik. Itt figyelembe kellene venni a környezet direkt és indirekt terhelését, mert ezek közvetlenül érintik az adott technikai eszköz optimális, feladatorientált alkalmazását. Például egy jól beállított gépjárműmotor nem csak megfelelő teljesítménnyel, fogyasztással üzemel, hanem a „legkisebb mennyiségű” környezet szennyező anyagot bocsát ki. Hasonlóképpen érvényesül mindez az üzemfenntartás területén.

Jól látható, hogy a technikai eszközök üzemeltetése során mind a technikát, mind a környezetet különféle sztochasztikus hatások érik. Ezen hatások következtében beálló műszaki, környezeti állapot változások halmozottan és véletlenszerűen érvényesülnek. Az állapotváltozások figyelemmel kísérése a műszaki menedzsment feladatkörébe tartozik, aki a döntései során közvetlen kapcsolatba kerül a technikával, a technikai kiszolgáló személyekkel és a környezettel. Ezért szükséges, hogy fel tudja mérni a döntéseinek hatását, illetve a döntés meghozatala során jelentkező kockázati tényezőket. Ehhez olyan, lehetőleg objektív, számszerűsíthető döntéshozatali módszer szükséges, amelyek a kockázatot minimálják, és a szubjektum hatását csökkentik. Ebből adódóan, biztosítható az alkalmazott technika, technológia optimális használata, és ennek segítségével mérsékelhetők a kockázati tényezők.

## 7. ÖSSZEFOGLALÁS

A tanulmány a kockázat és a bizonytalanság szakmai értelmezéseit, elemzési módszereit mutatta be, összegezve és értékelve a témakörrel foglalkozó hazai és külföldi szakirodalmakat. Külön fejezet mutatta be a kockázatkezelés során fellépő bizonytalansághoz kapcsolódó elemzési, döntéshozatali

problémákat, Végezetül röviden ismertettük a műszaki vezetők, menedzserek döntéseihez kapcsolódó kockázatkezelési kérdésköröket.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] AVEN T. - KÖRTE J. On the use of risk and decision analysis to support decision-making, Reliability Engineering and System Safety 79 (2003) p. 289–299.
- [2] AVEN, T., Risk analysis and science, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 11, No. 1 (2004) p. 1–15.
- [3] BÉLYÁCS I., A kockázat változó szerepe az értékszámításban, akadémiai székfoglaló előadás anyaga, <http://www.mta.hu/fileadmin/szekfoglalok/000873.pdf>.
- [4] BLOCKLEY, D., Risk based structural safety methods in context, Structural Safety, 21 (1999) p. 335–348.
- [5] CSEH, G., Rendszerbiztonság és a kockázat kezelése, Kard és toll 2002/1, p. 142–151.
- [6] FERSON S.- TUCKER W. T., Sensitivity analysis using probability bounding, Reliability Engineering and System Safety 91 (2006) 1435–1442.
- [7] MACGILL S.M.- SIU Y.L., A new paradigm for risk analysis, Futures 37 (2005) p. 1105–1131.
- [8] Matos M.A., Decision under risk as a multicriteria problem, European Journal of Operational Research (in press — [www.elsevier.com/locate/ejor](http://www.elsevier.com/locate/ejor)).
- [9] MIKULA, L., Kockázatkezelés irányítása a MH hadfelszerelési eszközeinek és anyagainak beszerzésében. II. rész., Katonai Logisztika Anyagi-Technikai Biztosítás 10. évfolyam 2002.4. p. 125–164.
- [10] MILLER, K.D.- WALLER H.G., Scenarios, Real Options and Integrated Risk Management, Long Range Planning 36 (2003), p. 93–107.
- [11] OUSSALAH, M.- NEWBY, M., Analysis of serial–parallel systems in the framework of fuzzy/possibility approach. Part I. Appraisal: case of independent components, Reliability Engineering and System Safety 79. (2003) p. 353–368.
- [12] POKORÁDI, L.- MADARÁSZ L., A repülőműszaki menedzsment és a kockázatkezelés, Repüléstudományi Közlemények, Szolnok ZMNE RTI, Szolnok, 1999/1, p. 95–104.
- [13] POKORÁDI, L., Fuzzy Logic-Based Risk Assessment, AARMS, Academic and Applied Research in Military Science, Volume 1, Issue 1 (2002) p. 63–73.
- [14] POKORÁDI, L., Linearized model-based investigation of manufacturing anomalies, Проблемы машиностроения и автоматизации, № 3, (2002), Москва, p. 44–49.
- [15] REBIASZ, B., Fuzziness and randomness in investment project risk appraisal, Computers & Operations Research 34. (2007) p. 199–210.
- [16] SCHUTZBACH, Mné., Kockázatelemzési módszerek áttekintése, Kard és toll 2003/1, p. 195–202.



## MINŐSÉGIRÁNYÍTÁSI RENDSZEREK ÉRTÉKELÉSI MÓDSZEREINEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

### BEVEZETÉS

A leggyakrabban alkalmazott minőség-menedzsment rendszerek esetében szabvány írja elő a rendszer működésére vonatkozó követelményeket, amelyek teljesítése esetén a rendszert tanúsítják. Ezt követően fontos feladat a szervezet számára a minőségirányítási rendszer eredményességének és hatékonyságának értékelése működésének fejlesztése, illetve a továbbfejlesztés területeinek és prioritásainak kijelölése érdekében.

Elsőként elemzzük és összehasonlítjuk az értékelési módszereket (belső audit, ISO 9001:2004 szerinti önértékelés, EFQM Kiválósági modell szerinti önértékelés) majd gyakorlati példán keresztül (az emberi erőforrásokra vonatkozó követelmények – felkészültség, tudatosság, képzés, munkatársak bevonása) mutatjuk be az értékelések végrehajtását.

### Az önértékelés szerepe a minőségirányítási rendszerben

Az önértékelés a szervezet tevékenységének és eredményeinek átfogó, rendszerszemléletű és periodikus átvizsgálása, amely lehetővé teszi a szervezet számára, hogy világosan megkülönböztesse erősségeit és azokat a területeket, amelyeket tovább lehet fejleszteni[1]. Az önértékelés a versenyképesség növelésének optimális eszköze, ezért alkalmazása minden minőségirányítási rendszerben elengedhetetlen (A széles körben ismert és alkalmazott PDCA-ciklus az ellenőrzés (C) fázisában lehetőleg tartalmazzon önértékelést is).

A minőségirányítási rendszerben végrehajtott önértékelés összefoglalóan az alábbiak miatt fontos:

- Szisztematikus módszert ad tevékenységünk, folyamataink rendszeres értékelésére, fejlesztésére;
- Alkalmazásával az adatgyűjtés, elemzés és összehasonlítás a napi munka részévé válik, integrálódik az egész szervezet tevékenységébe;
- Arra készíti bennünket, hogy folyamatosan mérjük teljesítményünket, mérhető célokat tűzünk magunk elé, figyelembe véve nemcsak a pénzügyi, hanem minden egyéb szempontot is.

### A minőségirányítási rendszerek értékelésének módszerei

Az ISO 9001:2000 szerint kiépített minőségirányítási rendszer kötelezően alkalmazandó értékelési módszere a **minőségügyi felülvizsgálat (audit)**, amelynek célja objektív bizonyítékok szerzése arról, hogy a menedzsmentrendszerre vonatkozó követelmények teljesülnek-e. A vonatkozó szabványban leírt minimumkövetelmények teljesülése esetén a rendszer tanúsítható [2].

Az **EFQM önértékelési modell**, valamint más nemzeti és regionális minőségdíjmodellek is öt súlyozott adottságkritériumot (24 alkritériumra bontva) és négy súlyozott eredménykritériumot (egyenként 2 alkritériumra bontva) dolgoztak ki az irányítási rendszerek értékelésére (1. ábra). Szerepük az, hogy segítsék az irányítási rendszerek versenyképességének növelését az érdekeltek elégedettsége és a belső hatékonyság folyamatos továbbfejlesztése által, másrészt járuljanak hozzá az önértékelési módszerek széleskörű elterjesztéséhez. E modell szerint a szervezet értékelése *összehasonlító önértékeléssel* történik (az EFQM modellhez, annak kritériumrendszeréhez viszonyítva), ezáltal a kiválóság demonstrálását szolgálja, így alkalmazási területe szűkebb (2. ábra) [3].



1. ábra: TQM-modell

Az **ISO 9004:2000-es szabvány szerinti önértékelés** azt a célt szolgálja, hogy a szervezet önmaga nézzen szembe saját erősségeivel és gyengeségeivel. Ez az önértékelés – szemben az EFQM modellel – kizárólag a szervezet minőségirányítási rendszerének érettségét (fejlettségét) értékeli 1-től 5-ig terjedő pontszámmal, és nem terjed ki a szervezet általános üzleti eredményeinek értékelésére. A szervezeti önértékelésnek ez a típusa továbbfejlesztésre orientált *diagnosztikai önértékelés* és célja a különféle területeken mutatkozó teljesítményhiányok szervezeti okainak azonosítása. Az értékelés eredménye az üzleti tervvel összehangolt továbbfejlesztési terv. Ez a modell nyitott, széles körben alkalmazható, minden szervezet számára elérhető (2. ábra).

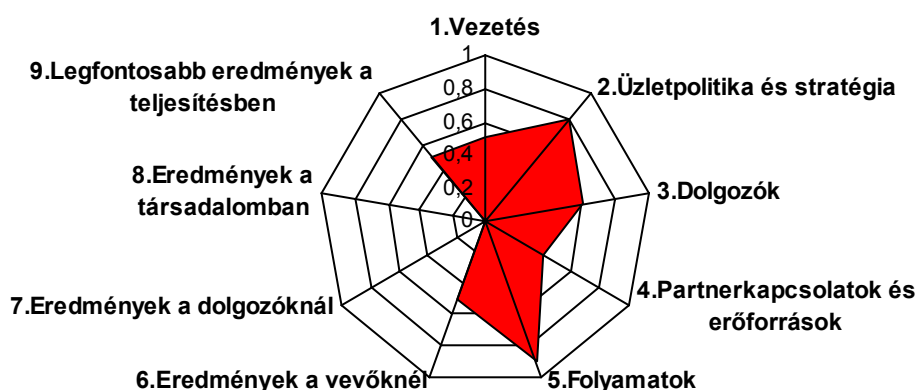
Szervezeti önértékelés	
<div>⇓</div> <div>Összehasonlító (a kiválóság demonstrálása)</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Szabványos modell</li> <li>➤ Szabványos súlyozás</li> <li>➤ Hagyományos audit</li> <li>➤ Az EFQM-modellben „balról-jobbra” haladó megközelítés</li> </ul>	<div>⇓</div> <div>Diagnosztikai (tökéletesítésorientált)</div> <ul style="list-style-type: none"> <li>➤ Nyitott modell</li> <li>➤ Megfontolt súlyozás</li> <li>➤ Az EFQM-modellben „jobbról-balra” haladó: diagnosztikai megközelítés</li> </ul>

2. ábra: A szervezeti önértékelés típusai

## Az ISO 9004:2000-es és az EFQM-modell összehasonlítása

Az EFQM-modell kilenc kritériuma alapján az ISO 9004:2000-es és az EFQM-modellt összehasonlítva azt állapíthatjuk meg, hogy a két modell a folyamatok, illetve az üzletpolitika és stratégia kritériumrendszerében igen közel áll egymáshoz, azonban a dolgozói és a társadalmi eredmények tekintetében az ISO 9004:2000 egyáltalán nem fogalmaz meg követelményeket [4]. A 3. ábrán a pókháló diagramon belül jelölt terület az ISO 9004:2000-ben rögzített követelmények arányát mutatja az EFQM követelményrendszerével összevetve.

Az ISO 9004-es az önértékelés módszerével hidat képez az EFQM modellhez. A két modell konvergenciája a 4. ábrán is megfigyelhető. Az ISO 9001-től az EFQM-modell felé haladva növekszik a TQM tartalom. Az értékelés módszere az auditálásról áttevődik az önértékelésre, eredménye a megfeleléstől a hatékonyságon át a kiválóság mértékéig terjed. Az összpontosítás területe a vevők körétől fokozatosan bővül a további érdekelték irányába. A minőségkonceptió minden esetben a 8 alapelvre épül [1,5].



3. ábra: Az EFQM- és az ISO 9004:2000-es összehasonlítása

Az ISO 9004 szerinti önértékelés egyszerű és könnyen használható minden szervezet számára, ezért a továbbiakban ennek alkalmazását mutatjuk be gyakorlati példán keresztül.

	ISO 9001:2000	ISO 9004:2000	EFQM
Minőségkonceptió	8 a l a p e l v		
Középpont	Vevő	Érdekelt felek	
TQM-tartalom	Kicsi	Közepes	Nagy
Követelmények	Minimum	Felzárkózás	Világ színvonal
Értékelési módszer	Auditálás	Diagnosztikai önértékelés	Összehasonlító önértékelés
Az értékelés eredménye	Megfelelés: igen/nem	Hatásosság, hatékonyság	A kiválóság mértéke

4. ábra: Az ISO 9004:2000 és az EFQM-modell kapcsolata

### Az ISO 9004:2000 szerinti önértékelés végrehajtása, módszere

Az önértékelési módszer alkalmazható a teljes minőségirányítási rendszerre, illetve valamely részére (bármely folyamatra), a teljes szervezetre vagy egy részére minőségügyi szempontból. Az önértékelést a különféle szervezeti egységek tagjaiból összeállított munkacsoport, a szervezet saját vezetősége, vagy kisebb vállalatok esetén egy személy is végezheti, ha a felső vezetőség támogatja őt. Az értékelés terjedelmét és mélységét a szervezet céljainak és prioritásainak függvényében célszerű megtervezni.

Az önértékelés során az ISO 9004-es 5-8 fejezeteinek követelményeire vonatkozóan kérdéseket teszünk fel. Minden szervezetnek saját igényeinek megfelelően kell a kérdéseket kidolgoznia. A kérdésekre adott válaszokat a szabvány 1-től (ahol nincs kialakított rendszer) 5-ig (ahol az illető kategóriában legjobb az eredmény) terjedő skálán pontozza, amely alapján a szervezet minőségirányítási rendszerének eredményessége, hatékonysága kiértékelhető (1. táblázat).

Működés érettségének szintjei (ISO 9004:2001)

1. táblázat

Az érettségi (kiforrottsági) szint fokozata és pontszáma	Az eredményességi szint jellemzője	Útmutatás az eredményességi szint megítéléséhez
1	Nincs rendszerezett eljárás	Nincs rendszerezett eljárás, nincsenek eredmények, gyengék az eredmények
2	Reagáló eljárás van	Problémamegoldás vagy megelőzésen alapuló eljárás van, minimális számú adat áll rendelkezésre a továbbfejlesztési eredményekről

3	Egyenletesen működő, rendszerszintű, kötelező eljárás van	Rendszerezett, folyamatszempléltű eljárás van, rendszerezett továbbfejlesztési tevékenység van kialakulóban, adatok állnak rendelkezésre arra, hogy a céloknak megfelelnek az eredmények és hogy vannak továbbfejlesztési irányok
4	Folyamatos továbbfejlesztés van	Működik a továbbfejlesztési folyamat: jók az eredmények, és a továbbfejlesztési irányokat fenntartják
5	A saját osztályában (kategóriájában) a legjobb az eredmény	Jól integrált továbbfejlesztési folyamat van, benchmarkinggal kimutatható, hogy az eredmények az osztályban a legjobbak

Az önértékelés végrehajtását egy elképzelt szervezetre az emberi erőforrásokra (6.2) vonatkozóan mutatjuk be, elsősorban az emberi tényező szerepének kiemelkedő fontossága miatt.

A 2. táblázatban az önértékelés kérdéseit, az összefoglaló értékelést és a teljesítés alapján megállapított átlagpontoszámot tüntettük fel.

A 3. táblázatban a „**felkészültség, tudatosság, képzés**”-re, a 4. táblázatban a „**munkatársak bevonására**” az ISO 9004:2000-ben megfogalmazott követelményeket és teljesítésük értékelését mutatjuk be az 1. táblázatban feltüntetett skála alapján pontozva.

Az emberi erőforrásokra vonatkozó önértékelés kérdései, kiértékelés, fejlesztendő területek 2. táblázat

A 9004-es fejezet száma	A kérdés és sorszáma	A megfigyelések eredménye	Pontozás	Továbbfejlesztési tevékenység
6.2	1. Hogyan gondoskodik a vezetés arról, hogy a szervezet munkatársainak felkészültsége megfelelően a jelenlegi és jövőbeli szükségleteknek?	A vezetés főként a jelenlegi felkészültségbeli szükségletekre koncentrál. Probléma-megoldás megelőzésen alapuló eljárás helyett. Kevés adat a továbbfejlesztési eredményekről.	2-3	<i>Fejlesztendő területek:</i> - stratégiai célok eléréséhez szükséges képzési terv, - előmenetel-tervezés, - fejlesztési és képzési terv a folyamatok és eszközök fejlesztésére, - felkészítés a csoportmunkára, - minőség javítási és probléma-megoldási technikák oktatása, - a szervezet jövőképe, a tervezett fejlesztéseknek az ismertetése, - teljesítménymutatók az oktatás hatékonyságának mérésére, - képzést támogató belső eszközök, - gyakorlati vizsga.
6.2	2. Hogyan mozditja elő a szervezet a munkatársak részvételét, és hogyan támogatja a munkatársakat a szervezet eredményességének és hatékonyságának fejlesztésében?	Vannak folyamatszempléltű eljárások, rendszerezett továbbfejlesztési tevékenység van kialakulóban, az eredmények a céloknak megfelelnek.	3	<i>Folyamatot kell kialakítani az alábbiakra:</i> - dolgozók előmenetelének tervezése, - minőségi célok lebontása, - dolgozók bevonása a célkitűzésbe és döntéshozásba, - MIR-ben dolgozók ösztönzése, jutalmazása, - Ösztönzés a fejlesztési tevékenységben való részvételre, dolgozói javaslatok bevezetése, jutalmazása, - Képzés, ösztönzés a csoportmunkára, - Elj. a fluktuáció vizsgálatára.

Az emberi erőforrásokra vonatkozó (felkészültség, tudatosság, képzés)  
követelmények és teljesítésük értékelése

3. táblázat

Követelmény	Teljesítés	Pontozás
A munkatársak számára jelenleg szükséges felkészültség meghatározása, elemzése, képzések megvalósítása.	Képzettségi nyilvántartás a felkészültség kiértékelésével, képzések végrehajtása képzési terv szerint.	5
Jövőbeni várható felkészültségbeli szükségletek meghatározása, elemzése: <ul style="list-style-type: none"> <li>- stratégiai célok,</li> <li>- vezetői utódlás, munkaerő-utánpótlás,</li> <li>- folyamatok és eszközök fejlesztése.</li> </ul>	Stratégiai célok eléréséhez szükséges jövőbeni képzésekre nem készült képzési terv. Munkaerő-utánpótlás tervezett (ösztöndíjak), azonban előmenetel-tervezés nincs. Fejlesztési és képzési terv a folyamatok és eszközök fejlesztésére nem készült.	1
Vonatkozó törvények, rendeletek, szabályzatok szabványok követelményeinek ismertetése	Szervezett figyelemmel kísérés, oktatási program része.	5
Az oktatás és képzés tervezésénél figyelembe kell venni: <ul style="list-style-type: none"> <li>- dolgozók előképzettségét,</li> <li>- csoportmunkára való felkészítést, szervezést,</li> <li>- problémamegoldás módszereit,</li> <li>- vevők és más érdekelt felek igényeinek ismeretét, kielégítésük fontosságát,</li> <li>- kreativitás és innovatív készségek fejlesztését.</li> </ul>	Alakítottak csoportokat, de felkészítésük nem szervezett, a minőségjavítási és probléma megoldási technikák nem szerepelnek az oktatási programokban. A vevői követelményeket, változásait, vevői elégedettségmérés eredményeit oktatják, tudatosítják.	2
A képzés terjedjen ki: <ul style="list-style-type: none"> <li>- a szervezet jövőképe, céljaira (minőségi célokra),</li> <li>- változásokra és fejlesztésekre,</li> <li>- új munkatársak képzésére,</li> <li>- szinten tartó programokra.</li> </ul>	A szervezet jövőképét, stratégiai célkitűzéseit a dolgozók nem ismerik, a tervezett fejlesztésekről a dolgozók késve értesülnek. Nem készült program az új munkatársak minőségügyi képzésére.	1
A képzési tervek tartalmazzák: <ul style="list-style-type: none"> <li>- a képzési célokat,</li> <li>- programokat és módszereket,</li> <li>- erőforrásokat,</li> <li>- belső támogató eszközöket,</li> <li>- mérési módszereket a képzések hatékonyságának kiértékelésére.</li> </ul>	Nincsenek előre rögzítve azok a teljesítmény mutatók, amelyek alapján az oktatás hatékonyságát mérni kívánják. Nincs ösztönzés (munkaidő kedvezmény, jutalmazás, előrelépési lehetőség stb.).	3
A képzés eredményességének és szervezetre való hatásának mérése, a dolgozók fejlődésének kiértékelése.	Gyakorlati vizsga nincs, csak elméleti szervezetre gyakorolt hatást nem vizsgálják	2
Feljegyzések oktatásról, képzésről, gyakorlatról.	Gyakorlatról szóló feljegyzések hiányoznak.	3

Az emberi erőforrásokra (a munkatársak bevonására) vonatkozó követelmények és teljesítésük értékelése (6.2)

4. táblázat

Követelmény	Teljesítés	Pontozás
Folyamatos képzés, a dolgozók előmenetelének tervezése	Megvalósul képzési terv szerint, karriertervezés nincs	3
Felelősségi kör és hatáskör meghatározása	SZMSZ, munkaköri leírás, feladat-hatásköri mátrix	5
Egyénekre és csoportokra kitűzött célok meghatározása	Minőség célok lebontása nem történt meg (szervezeti egységekre, csoportokra, egyénekre)	1
Munkatársak bevonása a célok kitűzésébe és a döntéshozatalba	Dolgozók véleményét nem kéri ki a célkitűzések meghatározásakor és a döntés előkészítés során	1
Elismerés és jutalmazás alkalmazása	Anyagi és erkölcsi elismerés a legjobb teljesítményt nyújtó dolgozóknak, azonban a MIR működtetésében és fejlesztésében élenjáró dolgozók munkáját nem ismerik el	3
Információ nyílt, kölcsönös áramlásának biztosítása	Horizontális, vertikális kommunikáció, folyamatos információcsere, kommunikációs csatornák működnek	5
Munkatársak szükségleteinek folyamatos átvizsgálása	Kedvező munkakörnyezeti feltételek, szisztematikus dolgozói elégedettségvizsgálat, kedvező szociális feltételek és juttatások	5
Innováció feltételeinek megteremtése, innováció ösztönzése	Kevés dolgozói kezdeményezés, javaslat, dolgozói javaslatokat nem vezetik be, nem jutalmazták	1
Eredményes csoportmunka feltételeinek biztosítása	Vannak problémamegoldásra megalakított csoportok, de működésük nem hatékony. Nem megfelelő felkészítés, képzés, nincs ösztönzés	1
Javaslatok és vélemények közlésének előmozdítása	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nyitott ajtó politikája</li> <li>- Véleménygyűjtő láda</li> <li>- Megfelelő légkör, nyitottság</li> </ul>	5
Munkatársak elégedettségének mérése	Rendszeres dolgozói elégedettségmérés, elemzés, bevezetett javító intézkedések	5
Okok vizsgálata, amelyek miatt a dolgozók belépnek a szervezetbe vagy elhagyják azt	Nincs eljárás, nem vizsgálják	1

Az önértékelés alapján megállapítható, hogy a példaként vizsgált szervezet az emberi erőforrásokra vonatkozó követelményeket közepes szinten teljesítette. A vizsgált területen a szervezet folyamatszempléletű eljárást működtet, az elért eredmények összhangban vannak a kitűzött célokkal – ezt adatok bizonyítják – azonban a továbbfejlesztési tevékenység nem rendszerezett, nincsenek egyértelműen kijelölve a fejlesztendő területek. Összességében ezen a területen a minőségirányítási rendszer közepes színvonalon működik.

A folyamatos továbbfejlesztés érdekében a 2. táblázatban javaslatokat fogalmaztunk meg a továbbfejlesztendő területekre vonatkozóan.

## Az EFQM - (Kiválósági) modell szerinti önértékelés

A vizsgált önértékelési modellek összehasonlítása érdekében a következőkben az EFQM-modell emberi erőforrásokra (a modell terminológiáját használva „dolgozókra”) vonatkozó adottság- és eredmény kritériumait ismertetjük. A kiválósági modell az ISO 9004:2000-el ellentétben az önértékelés „balról jobbra” haladó megközelítési módszerét alkalmazza: előbb az adottságok, majd az eredmények értékelése történik.

### *Adottságkritériumok: DOLGOZÓK*

Az önértékelés során azt vizsgálják, hogyan irányítja, fejleszti és hasznosítja a szervezet alkalmazottai tudását és munkavégző képességét egyéni, csoport- és szervezeti szinten, hogyan állítja munkatársai tevékenységét a szervezet politikájának és stratégiájának szolgálatába.

Alkritériumok:

- a) *Az emberi erőforrás tervezése, menedzselése, fejlesztése*
  - létezik-e emberi erőforrás (személyzeti) politika,
  - bevonják-e a munkatársakat e politika kialakításába,
  - összhang e politika, a szervezet PS-a, struktúrája és fő folyamatai között,
  - karriertervezés és szakember utánpótlás (ösztöndíjak, pályakezdő fiatalok, utánpótlási programok),
  - egyenlő esélyek és bánásmód minden területen,
  - dolgozói vélemények kikérése a személyzeti politika fejlesztéséhez,
  - módszerek a munkavégzés feltételeinek javítására (pl. team munka, rugalmas munkaidő).
- b) *A munkatársak tudásának, szakértelmének meghatározása, fejlesztése, fenntartása*
  - a munkatársak tudásának, képesítéseinek összhangja a szervezet szükségleteivel,
  - képzési- és továbbképzési terv kidolgozása a szervezet jövőbeni szükségletei szerint,
  - egyéni, csoportos és szervezeti szintű belső továbbképzési lehetőségek, szakmai fejlődés ösztönzése (ösztöndíjak, tanulmányi szerződések, nyelvpótlék, szakmai előrelépés),
  - szerzett tapasztalatok hasznosítása,
  - csoportmunkára való képesség,
  - egyéni, csoport és szervezeti célok összehangolása,
  - munkatársak segítése, ösztönzése a jobb munkavégzésre.
- c) *A munkatársak bevonása és felhatalmazása önálló jogkörrel*
  - egyének és csoportok ösztönzése a fejlesztési tevékenységekben való részvételre (újítómozgalom, ötletnap),
  - munkatársak bevonása a fejlesztendő területek meghatározásába,
  - lehetőségek adása az innovatív és kreatív viselkedés kialakítására,
  - dolgozók felhatalmazása tevékenységek végzésére,
  - csoportmunka támogatása.
- d) *A szervezet és a munkatársak közötti párbeszéd*
  - a tájékoztatás és a tájékozódás iránti igény felmérése,
  - kommunikációs politika kialakítása az igények alapján,
  - kétirányú, vertikális, horizontális kommunikációs (rendszeres tájékoztatás a vezetés részéről, dolgozói vélemények gyűjtése, figyelembe vétele),
  - információs csatornák működtetése,
  - jó tapasztalatok közzététele.
- e) *A munkatársakkal való törődés, elismerésük és jutalmazásuk*
  - jutalmazások, átszervezések, létszámgazdálkodás összhangja a PS-val,
  - társadalmi és kulturális tevékenységek ösztönzése,
  - szolgáltatások, juttatások: üzemorvosi és szakrendelések, lakásépítési és vásárlási hitelek, életbiztosítás, nyugdíjpénztár, szállítás, étkeztetés, üdülési támogatás stb.,

## Eredménykritériumok: DOLGOZÓI EREDMÉNYEK

Az önértékelés keretében a szervezet saját munkatársaira vonatkozó eredményeit veszik számba: az alkalmazottak motivációját, megelégedettségét és teljesítményét, illetve azokat a szolgáltatásokat, amelyeket a szervezet nyújt saját dolgozóinak.

Alkritériumok:

a) *A dolgozók véleménye alapján (felmérések, interjúk):*

- *motiváció:* fejlődés elősegítése, bevonás és felhatalmazás, kommunikáció, egyenlő esélyek, politika és stratégia, elismerés, előléptetés,
- *elégedettség:* szervezetség, munkakörülmények, anyagi és erkölcsi elismerés, szociális juttatások, változásmenedzselés.

b) *A szervezet teljesítménymutatói alapján:*

- *elért eredmények:* továbbképzésben elért eredmények, a tervezett és a megszerzett képesítések
- *motiváció és részvétel:* részvétel a problémamegoldó és fejlesztő csoportmunkákban, egyének és csoportok elismerése, vélemények kérése és kezelése
- *megelégedettség:* szolgáltatások igénybevétele, jövedelmi viszonyok, hiányzások és betegségek, munkakörülmények javítása
- *a szervezet által nyújtott szolgáltatások:* személyzeti munka szervezetsége, kommunikáció, továbbképzések, észrevételek kezelése, szociális juttatások

Az EFQM-modell dolgozókra vonatkozó kritériumrendszerének áttekintése alapján megállapítható, hogy a kiválósági modell szerint jóval szélesebb körű, komplex szempontrendszer alapján végezhető önértékelés. Az önértékelést a modell valamennyi kritériuma alapján elvégezve lehetővé válik a szervezetnél megvalósított minőségirányítási rendszer színvonalának számszerű kifejezése és értékelése, kitűzhetők a továbbfejlesztés irányai, valamint lehetőség nyílik a hazai és nemzetközi minőségi díj pályázatokon való részvételre.

## KÖVETKEZTETÉSEK

Amíg az EFQM-modell szerinti önértékelés a kiválóság demonstrálását szolgálja a vizsgált szervezetet a világszínvonalú szervezettel összehasonlítva, addig az ISO 9004:2000 szerinti önértékelés tökéletesítésorientált (diagnosztikai) önértékelés, amelynek eredménye az üzleti tervvel összehangolt továbbfejlesztési terv és amely nyitott, minden szervezet számára elérhető.

A minőségirányítási rendszer eredményességének és hatékonyságának értékelésére az ISO 9004:2000 szerinti önértékelés jól alkalmazható, mert egyszerű, könnyen érthető megközelítést tesz elehetővé, rövid idő alatt elvégezhető belső erőforrások felhasználásával. Alkalmazásának fontosabb előnyei a következők:

- A vezetőség számára áttekintést ad a szervezet működéséről, az irányítási rendszer érettségéről.
- Bementi adatokat szolgáltat az irányítási rendszer fejlesztéséhez, kijelöli a továbbfejlesztés területeit és prioritásait.
- Szisztematikus önértékelésekkel követhető a minőségirányítási rendszer érettségének változása, fejlődési trendek rajzolhatók.
- Eredményei felhasználhatók a szélesebb körű, EFQM-modell szerinti önértékeléshez.
- Rugalmas módon használható a szervezet igényeinek megfelelően.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] TAR J.: Az új ISO 9004-es és a minőségügyi modellek. Minőség és Megbízhatóság, 2000/4, p: 195-203.
- [2] GUTASSY A.: Menedzsmentrendszerek auditálása. TÜV Rheinland InterCert, Bp. 2003.
- [3] SZIGETI F.-VÉGSŐ K.-PÉTER, L.: Önértékelés (EFQM) és vevői igények a felsőoktatásban. GÉP, LII. évf. 2001/8. p: 41-46.
- [4] G. QUAGLIA: Az EFQM-modell és az ISO 9000:2000 MMT/HTI szeminárium, Budapest, 2000. március 29-30.
- [5] BALOGH A.: Az új ISO 9000-es és ISO 9004-es szabvány szemlélete. Minőség és Megbízhatóság, 2000/3. p: 124-135.



## A FÜGGŐLEGES TÚLTERHELÉSI TÉNYEZŐ $n_y$ VIZSGÁLATA A FEDÉLZETI ADATRÖGZÍTŐ ADATAI ALAPJÁN

Manőverező repülőgépeken alapvető a függőleges túlterhelési tényező „ $n_y$ ”, ami jellemzi, hogy az üzembentartás során a repülőgép sárkány szerkezete mennyire volt igénybe véve. Kísérleti vizsgálatok során megállapították, hogy  $n_y$  – a függőleges irányban mért túlterhelés – ismétlődő értékei, vagyis a repülőgép szerkezete, a repülés során a repülőgépek eltérő példányainál különbözőek, valamint lényegesen eltérnek a tervezés során meghatározott paraméterektől. Ez a helyzet egyrészt azt eredményezi, hogy egyes repülőgépek a tervezett élettartam alatt nem dolgozzák le a bennük levő „fáradási tartalékot”<sup>1</sup>, míg mások a tervezettnél korábban megrepednek, eltörnek, ami azt jelenti, hogy a tervezettnél korábban elhasználódtak.

A fenti logika alapján a repülőgép nyilvántartott adatai segítségével, gépenként meghatározhatjuk a „fáradási tartalék” maradvány értékét. Konkrétan arról van szó, hogy béke időszakban a vadászipülőgépek nem harci feladatokat, hanem gyakorló és bemutató repüléseket hajtanak végre. Esetenként, mivel ezek a repülési bemutatók nagyon látványosak a legkülönbözőbb ünnepi, vagy más alkalomból kerülnek megrendezésre. Ennek során a repülőgép lényegesen többször van a műrepülési figurából adódóan nagy túlterhelésnek kitéve, mint egy manőverező légi harc során. Ha ehhez még figyelembe vesszük, hogy korszerű harci alkalmazás során igyekeznek elkerülni a közvetlen légi harcot, inkább nagy távolságból, a látóhatáron túlról indítják az önvezérlésű rakétákat, akkor a légi bemutatók, mint teljesen indokolatlan terhelések jelennek meg a repülőgép alkalmazása során. Ezt a továbbiakban bizonyítani fogom.

Ha a repülőgép rendelkezik fedélzeti adatrögzítővel, ami feladatonként, időtartam szerint rögzíti a repülőgép által elszenvedett terheléseket, akkor összegyűjtjük a repülőgépre eddig hatott  $n_y$  túlterheléseket, a hozzájuk tartozó időtartamokkal és felépítjük az adott repülőgépre, az időbeni túlterhelések tényleges grafikonját  $Ft_i(n_y^{tényl.})$ . Ezután összehasonlítjuk a repülőgépre eredetileg tervezett terhelések tervezési normaként  $Ft_{norm.}(n_y^{terv.})$  alapul vett grafikonjával<sup>2</sup> [4, 8].

Az összehasonlítás alapján pontosíthatjuk, a vizsgált repülőgép túlterhelési értékeinek eltérését a tervezettől a repülőgép adott állapotában.

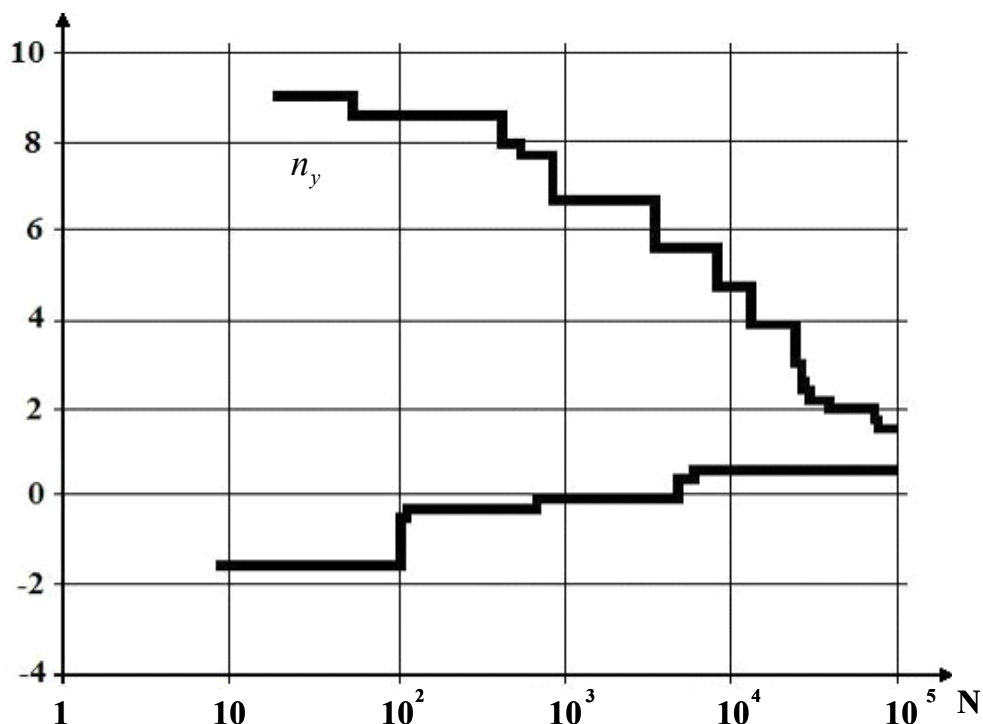
A **viszonyított óránkénti sérülékenységi index**  $\xi_t^*(n_y^{tényl.})$ , ami az adatrögzítő adatai alapján meghatározott óránkénti túlterhelésekből adódó számított felhasznált fáradási tartalék  $\xi_{szám.}(n_y^{tényl.})$  és a típusra megadott grafikonon (1. ábra) mért adatokból meghatározott  $\xi_{t\ mért}(n_y^{terv.})$  érték hányadosa.

$$\xi_t^*(n_y^{tényl.}) = \frac{\xi_{szám.}(n_y^{tényl.})}{\xi_{t\ mért}(n_y^{terv.})} \quad (1)$$

A viszonyított óránkénti sérülékenységi szint meghatározása lehetővé teszi a ténylegesen elszenvedett fáradási terhelés viszonyítását a repülőgép építése során tervezetthez. Ennek segítségével meghatározhatjuk, hogy az adott repülőgép, az óránként elszenvedett túlterhelés függvényében hol tart a fáradási tartalékok felhasználásával.

<sup>1</sup> Hátralévő üzemidő.

<sup>2</sup> Lásd az 1. ábrát.



1. ábra. A repülőgépre ható terhelések spektruma, ami mutatja mind a terhelések nagyságát, mind azok gyakoriságát az élettartamon belül [9]

Összegyűjtjük  $n_y^{tényl.}$  a tervezett meghaladó – maximális – tényleges értékeit a hozzájuk tartozó „ $\Delta t$ ” időtartamokkal együtt, majd átlagot képezünk. Kiszámítjuk a repülőgép által elért időtartamra  $n_y^{terv.}$  a tervezés során számított értékeit, majd átlagoljuk.

A két paraméter hányadosa  $n_y^{tényl.} / n_y^{terv.}$  fogja jellemezni a meglévő fáradási tartaléknak ténylegesen megfelelő repült időt. A továbbiakban, a repült időt innen számoljuk. A következő alfejezetben a számítás menetét mutatom be.

### A számítási módszer elméleti megalapozásának fontosabb fordulékonyági mutatói a manőverező vadászrepülőgépekre

A manőverező repülőgépeknél a beépített sárkány üzemidő tartalék az üzemeltetés során függ a függőleges túlterhelés  $n_y$  integrált gyakorisági értékétől. Egyes repülőgépek konkrét fáradási tartalékának – vagyis hátralevő üzemidejének – megállapítása az elviselt függőleges túlterhelés integrált értékétől függ. Ezáltal az üzemidő ledolgozás korai időszakában elszenvedett, az időarányost meghaladó nagy túlterhelések mennyisége növeli a fáradásos repedések, törések megjelenésének valószínűségét, az alkatrészek kritikus állapotának létrehozását.

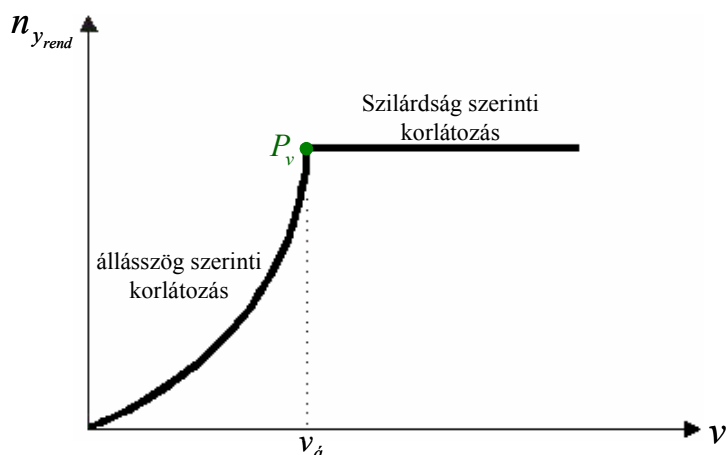
A repülőgépre a tervezés első lépcsőjeként elkészítik a tervezett várható igénybevétel, vagyis  $n_y$  függőleges túlterhelési grafikonját (lásd 1. ábra).

A számítási módszer elméleti megalapozásához vizsgáljuk meg a manőverező vadászrepülőgépekre ható, szempontunkból fontosabb tényezőket. Az aerodinamikai összefüggésekből csak a téma megalapozásával kapcsolatosakat emelem ki [1, 2, 5, 11, 12, 15, 17, 18, 20, 21].

A légi harc elemzése során a repülőgép fordulékonyága érdekében megkülönböztetjük a következő fogalmakat:

#### 1. Nem állandósult (pillanatnyi) túlterhelés.

A pillanatnyi túlterhelés nagyságát a repülőgép maximális felhajtóerő tényezőjének nagysága, illetve a repülőgép szerkezeti szilárdsága korlátozza (lásd 2. ábra).

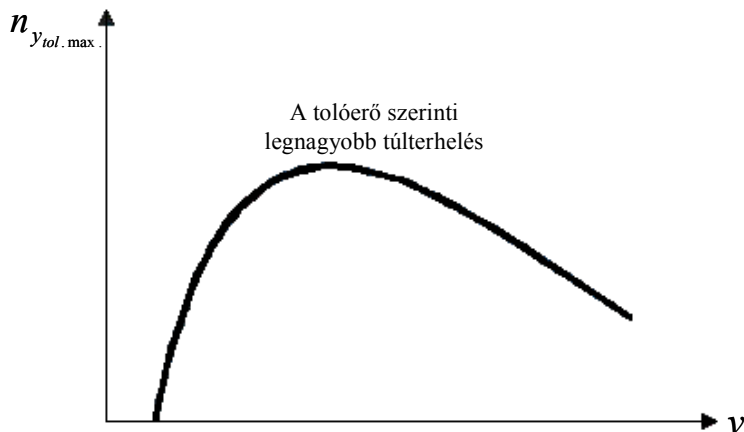


2. ábra. A repülőgép állásszög és szilárdság (korlátozás) szerinti túlterhelése a sebesség függvényében [10]

Azt a sebességet, ahol az egyik korlátozás vonala metszi a másikat, nevezhetjük átváltási pontnak ( $P_v$ ). Ez alatti sebességeken ( $v_a$ ) a repülőgép vezetőnek az állásszöget, felette a túlterhelési korlátozásokat kell szem előtt tartania.

2. Az *állandósult túlterhelés* a repülőgéppel vízszintes síkban végrehajtott forduló során egyenletesen tartható túlterhelés. Az állandósult repülési paraméterek (állandósult túlterhelés<sup>3</sup>) tartása eredményeként a repülőgép nem gyorsul, és nem fékeződik ( $F_p = F_x$ ). Az állandósult túlterhelést másképpen tolóerő szerinti maximális túlterhelésnek is nevezik [13].

A repülőgép fordulója során a legnagyobb állandósult-, illetve a legnagyobb nem állandósult túlterhelések más és más sebességeken érhetők el (3. ábra). Ugyancsak eltérnek a legkisebb fordulósugarhoz, illetve a legnagyobb forduló szögsebességhez tartozó repülési sebességek  $v_1$  és  $v_2$  (lásd 4. és 5. ábra).



3. ábra. A repülőgép tolóerő szerinti túlterhelése a sebesség függvényében [13, 21]

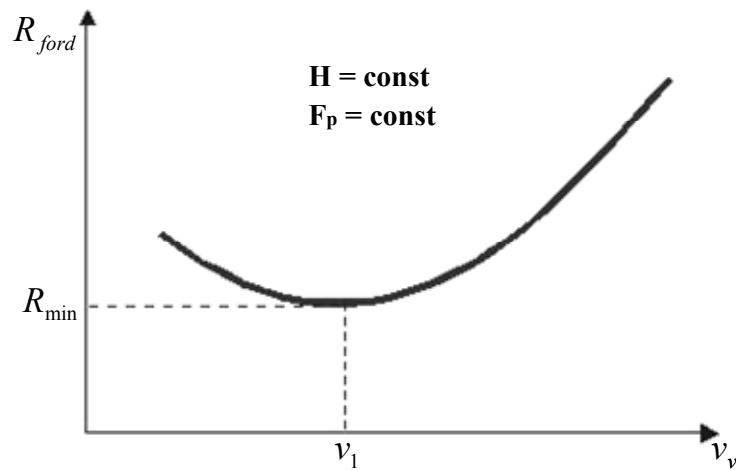
3. *Fordulósugár:* A fordulósugár ( $R$ ) görbe vonalú manőverek végrehajtása során a repülőgép oldalirányú elmozdulásának jellemzője, a manőver síkjában mérve. A forduló nagyobb túlterhelése, illetve kisebb sebessége csökkenti a fordulósugarat. [3, 6, 7, 12, 13, 14, 16]

$$R = \frac{v_v^2}{g \sqrt{n_y^2 - 1}} ; [m] \quad (2)$$

ahol:  $n_y$  - a repülőgép függőleges túlterhelése a fordulóban;  
 $g$  - a nehézségi gyorsulás;

<sup>3</sup> Nagysága függ a repülőgép szárny ill. törzs kialakításától, a repülési magasságtól, sebességtől és a hajtómű beállított tolóerő nagyságától [ $n_{y \text{ toloerő max.}}$ ]. Kritériuma a hajtómű tolóerő [ $F_p$ ] és homlokellenállás [ $F_x$ ] kiegyenlített nagysága.

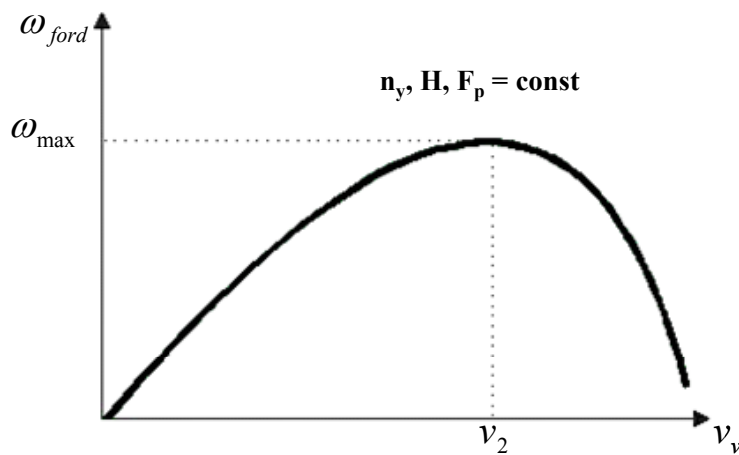
$v_v$  - a valós sebesség (m/s).



4. ábra. A repülőgép fordulósugara a valós repülési sebesség függvényében [13]

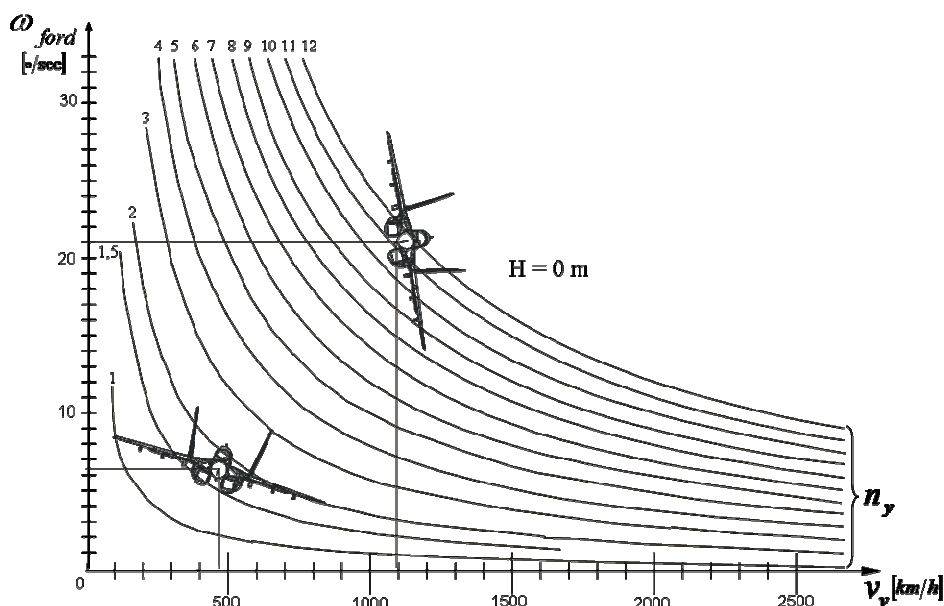
A forduló szögsebessége (fordulékonyság):  $[\bar{\omega}]$

$$\omega = \frac{v_v}{R} ; \bar{\omega} = 57,3 \frac{g}{v_v} \sqrt{n_y^2 - 1} ; (^\circ / \text{sec}) \quad (3)$$



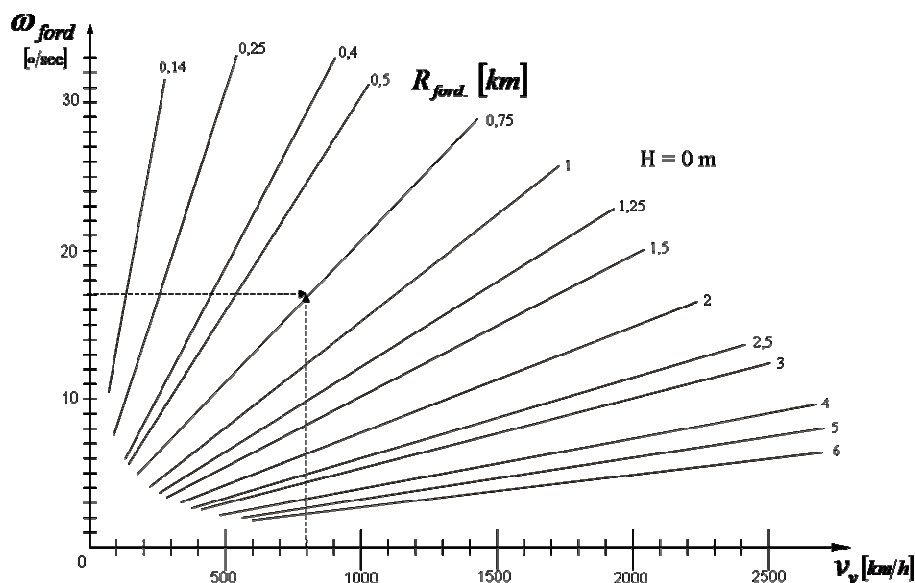
5. ábra. A repülőgép forduló szögsebessége a valós repülési sebesség függvényében [13]

Az  $\bar{\omega} = f(M; n_y)$  összefüggés felhasználásával egy forduló szögsebesség – repülési sebesség koordináta-rendszerben megszerkeszthető a túlterhelések *állandó* görbeserege. (lásd 6. ábra). Hasonlóképpen az  $R = f(M; \omega)$  függvény alapján *állandó* görbeseregként megszerkeszthetők a fordulósugarak jelleggörbéi is (lásd 7. ábra).



6. ábra. A forduló szögsebességének változása a repülési sebesség és túlterhelés függvényében, egy kiválasztott magasságon [21]

A két képlet felhasználásával bármilyen kitüntetett magasságra elkészíthető egy fordulékonsági diagram sablon, amin az előkészített segédgörbék minden repülőgépre alkalmazhatók – típustól és jellemzőktől függetlenül. Megkülönböztethetünk állandósult-  $\omega_{all.}$  és a nem állandósult  $\omega_{pill.}$  forduló szögsebességeket.

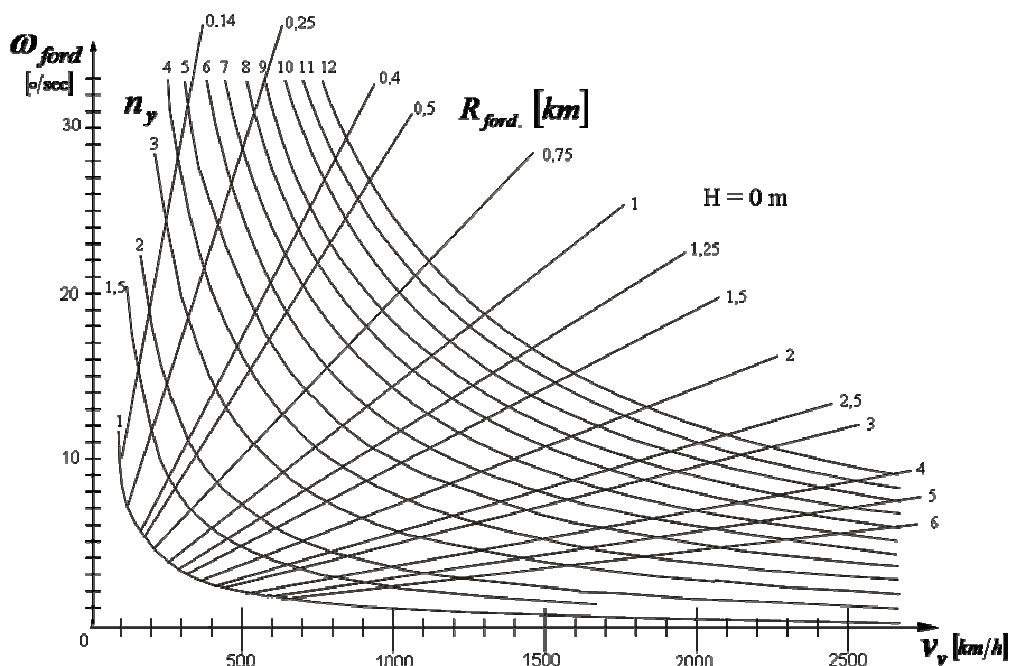


7. ábra. A repülőgép valós sebessége a forduló szögsebessége és fordulósugar összefüggései [21]

Minden magasságra vonatkozóan el lehet készíteni egy-egy általánosan használható (repülőgép-típustól független) sablont, ahol egy vagy több repülőgép adatai felhasználásával megrajzolhatók azok forduló szögsebességének változása a repülési sebesség és a forduló túlterhelése függvényében (lásd 8. ábra).

#### A repülőgép fordulékonsága

A fordulékonságot megfogalmazhatjuk úgy is, mint a repülőgép képességét a sebességvektora irányának állandósult vagy nem állandósult sebességgel történő változtatására, a  $C_{y \max.}$  túllépése nélkül. A fordulékonság vizsgálható vízszintes-, ferde és függőleges síkú manőverek alapján. A fordulékonság nem azonos a repülőgép elfordulási képességével.



8. ábra. Sablon a repülőgépek fordulékonyági diagramja elkészítéséhez egy adott magasságon [21]

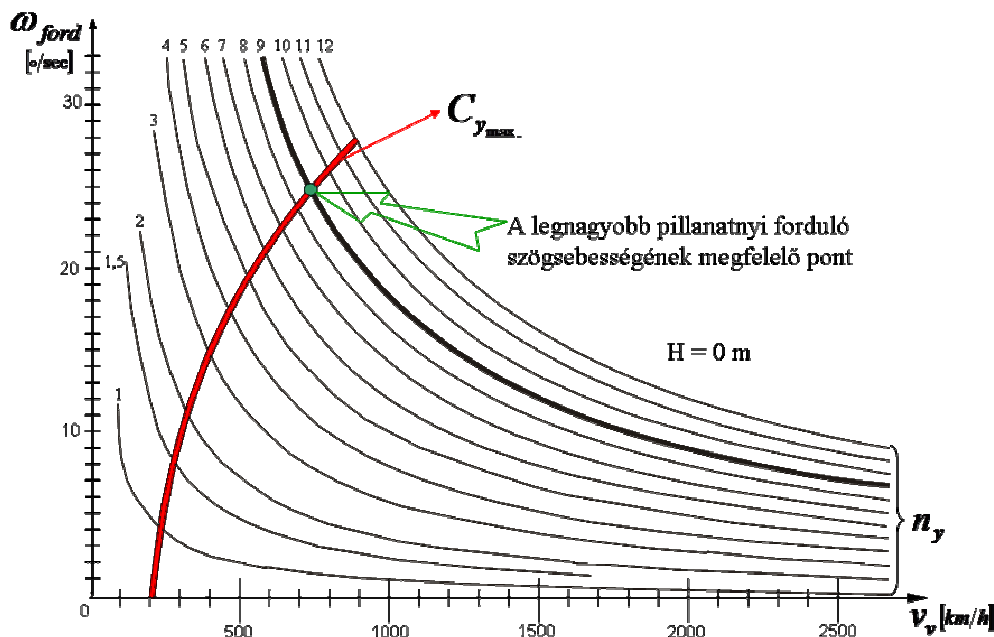
#### A repülőgép fordulékonyága vízszintes síkban

A vadászrepülőgépek fordulékonyágára ható tényezők:

- a legnagyobb felhajtóerő-tényező [ $C_{y_{max}}$ ];
- a túlterhelés szerinti üzemeltetési korlátozások [ $n_{y_{üzem. max.}}$ ];
- a rendelkezésre álló tolóerő nagysága [ $F_{prend}$ ];
- a megengedett sebesség (M-szám) szerinti korlátozás.

Állandó magasságon a felhajtóerő-tényező maximuma minden egyes túlterhelés értékre vonatkozóan meghatározza a repülőgép minimális sebességét.

A repülőgéppel elérhető legnagyobb pillanatnyi forduló szögsebesség nagyságát a repülési M-szám függvényében a legnagyobb felhajtóerő-tényező és a legnagyobb megengedett túlterhelés görbéinek metszéspontja határozza meg (lásd 9. ábra).

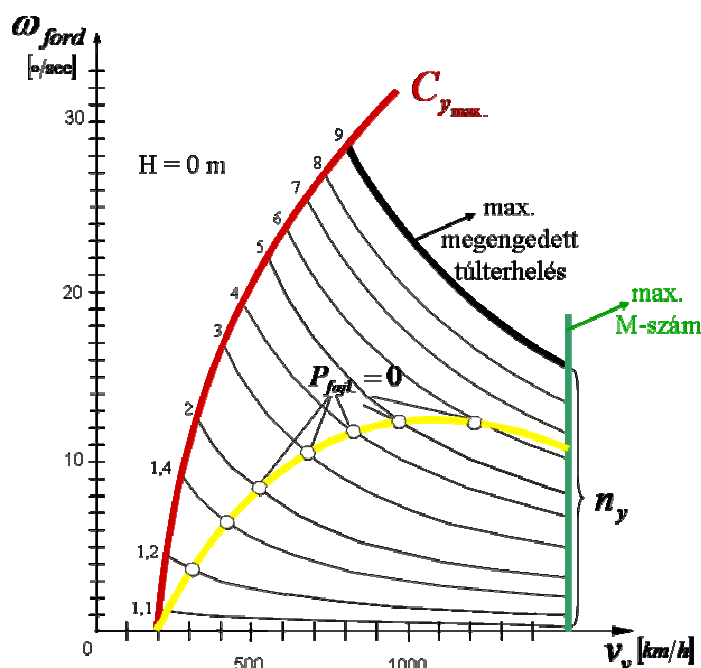


9. ábra. A fordulékonyági diagram felhajtóerő-maximum szerinti határoló-görbéje [21]

A fordulékonyági diagramon a rendelkezésre álló tolóerő görbéjének a túlterhelések görbéivel létrehozott metszéspontjai a repülőgép különböző túlterhelésekhez illetve sebességekhez tartozó **fajlagos teljesítményfelesleg** [ $P_{fajl.}$ ] állapotát jellemzik (lásd 10. ábra).

$$P_{fajl.} = \left( \frac{F_p - F_x}{G} \right) v \quad [\text{m/s}] \quad (4)$$

A  $P_{fajl.} = 0$  pontok által képzett görbét a hozzá tartozó sebességi és túlterhelési értékekkel az **állandósult szögsebességű forduló jelleggörbéjének** nevezik. A fajlagos teljesítményfelesleg a repülőgép olyan jellemzője, ami megmutatja, időegység alatt milyen mértékben képes megváltoztatni teljes energiája összetételét, vagyis képességét a túlterhelés szabályozás mellett a sebesség és magasság, a helyzeti és mozgási energiák gyors változtatására. A  $P_{fajl.} = 0$  pontokban (egy beállított hajtómű teljesítmény mellett) a repülőgép sebessége, magassága és függőleges túlterhelése állandó. Változatlan hajtómű teljesítmény esetén bármelyik paraméter megváltozása a többi változását is maga után vonja.



10. ábra. A repülőgép fordulékonyági diagramjának túlterhelés és M-szám szerinti határoló vonalai [21]

A repülőgép pillanatnyi vízszintes gyorsulása  $a$  és a fajlagos teljesítményfelesleg viszonyát az alábbi összefüggéssel fejezhetjük ki:

$$a = \frac{P_{fajl.} g}{V} \quad [\text{m/s}^2] \quad (5)$$

A fordulékonyági diagramok harcászati szempontból az egyik legfontosabb eszközök a repülőgépek manőverezési lehetőségeinek szemléltetésére, lehetőséget nyújtanak arra, hogy abban feltüntessük egy, vagy több repülőgépnek az adott magasságra érvényes fajlagos teljesítményfelesleg jelleggörbéit, és ezeket összehasonlítsuk.

Mint az ábrákból láthattuk a manőverezéshez vízszintes síkban sebesség, felhajtóerő, vagyis túlterhelés kell. Minél szűkebbre szeretnénk a fordulót annál nagyobb a túlterhelés. Hasonlóan lehetne ezt a bizonyítást bemutatni a függőleges síkra, ahol még nagyobb túlterhelésekre van szükség.

A tapasztalat azt mutatja, hogy a harcászati manőverek, légi bemutatók:  $4 \leq n_y \leq 7$  közötti túlterheléssel történnek [6, 13].

A repülőgép által elszenvedett túlterheléseket a még meglévő fáradási terhelhetőség meghatározása érdekében kell meghatározni.

## Számolási metodika fedélzeti adatrögzítő adatai alapján

Kiszámítjuk az 1. összefüggés alapján a **viszonyított óránkénti sérülékenységet, vagy sérülékenységi indexet**  $\xi_t^*(n_y^{tényl.})$ .

Ezt úgy végezhetjük el, hogy a tervezés során megadott üzemidő, élettartam pl: 2400 repült óra időtartamot, mint bázist feltételezve meghatározzuk először a tervezett repült idők időarányos részét a különböző túlterheléseken.

Amint a tervezett túlterhelések 1. ábrájából látjuk  $n_y = 6$  vagy annál nagyobb túlterhelés az élettartam során mindössze 800 esetben engedhető meg. A teljes túlterhelési spektrum százezer esetet tartalmaz. Ha ezt üzemidőben nézzük, mivel gyárilag a repülőgép élettartama adott esetben 2400 repült óra,  $2400 \times 60 \times 60 = 8\,640\,000$  másodperc, vagyis egy túlterhelési esemény  $8\,640\,000 / 100\,000 = 86,4$  másodperc.

Tehát össze kell gyűjtenünk a különböző  $n_y$   $\Delta t$  értékeket. Vagyis minden  $n_y$ -hoz az ábra alapján hozzá tartozó tervezett időtartamot is. Ezután az értékeket össze kell adni.

Az 1. ábra szerint, a különböző túlterhelésekhez tartozó eredetileg tervezett túlterhelések mennyisége és idők összege (lásd 1. táblázat).

$$(9 \cdot 50) + (8,5 \cdot 630) + (8 \cdot 150) + (7,8 \cdot 200) + (6,8 \cdot 5600) + (5,6 \cdot 4000) + (4,6 \cdot 16000) + (4 \cdot 30000) = 262645$$

Az 1. ábrából látható, hogy minél kisebb a túlterhelés értéke annál nagyobb repülési idők engedhetők meg ezért az  $n_y = 2$  értéket terhelés szempontjából nem veszem figyelembe.

A különböző túlterhelésekhez tartozó tervezett túlterhelések mennyisége és idők összege 1. táblázat

$n_y$ túlterhelés	$\Delta t$ időtartama [s]	$\Sigma$ összeg [s]	$\Sigma$ összeg órában
9	50	450	0,125
8,5	630	5355	1,4875
8	150	1200	0,3333333
7,8	200	1560	0,4333333
6,8	5600	38080	10,577778
5,6	4000	22400	6,2222222
4,6	16000	73600	20,444444
4	30000	120000	33,333333

Tételezzük fel, hogy a fenti élettartamra tervezett repülőgép eddig lerepült 800 órát és ezután óhajtjuk átállítani állapot szerinti üzembehaltásra. Ennek érdekében meg kell, vizsgáljuk, hogy hol tart az  $n_y > 2$  érték viszonylatában. Azért az „ $n_y = 2$ ” értéket veszem alapul, mint általános terhelhetőséget, mert mint az ábrából láttuk ezen érték alatt a repülőgép az élettartamon belül tetszőleges ideig üzemeltethető. Ehhez még hozzá tenném, hogy szabályos fordulóban a bedöntés szöge „ $\gamma$ ” és a túlterhelés között az alábbi összefüggés van [3, 6, 13, 19, 20, 21]:

$$\cos \gamma = \frac{1}{n_y} \quad (6)$$

Amiből következik, hogy általában a fordulókhöz használt maximális bedöntési szög nem nagyobb, mint 60 fok, ami alapján

$$n_y = \frac{1}{\cos 60^\circ} = \frac{1}{0,5} = 2 \quad (4.7)$$

A manőverező repüléssel foglalkozó szakirodalom alapján [6, 13] a szűk, gyors fordulókhöz, illetve a függőleges manőverekhez, mint a grafikonokból láttuk legalább  $n_y = 4-7$ , vagy még ennél is nagyobb túlterhelés szükséges. Ennek alapján a tényleges adatok összehasonlításához meg kell határoznunk a repülőgép eddigi 800 repült óra működési idejével arányosan az 1. táblázatban levő idők 1/3 át (2. táblázat). Mivel a repülőgép az engedélyezett üzemidőnek csak ekkora részét repülte le.



A repülőgép 800 repült óra működési idejével arányos idők 1/3-a

2. táblázat

$n_y$ túlterhelés	1/3-a a $\Delta t$ időtartamnak mp	$\Sigma n_y \cdot \Delta t$ összeg mp	$\Sigma$ összeg órában
9	16,66666667	150	0,04167
8,5	210	1785	0,49583
8	50	400	0,11111
7,8	66,66666667	520	0,14444
6,8	1866,666667	12693,3333	3,52593
5,6	1333,333333	7466,66667	2,07407
4,6	5333,333333	24533,3333	6,81481
4	10000	40000	11,1111

A lerepült 800 óra üzemidőhöz meghatározzuk időarányosan a túlterheléseket. Ha a 2. táblázatból számolunk átlagot az engedélyezett időtartamokkal súlyozva az alábbi értékeket kapjuk:

$$\Sigma n_{y_i} \Delta t = 87548$$

Ezt vesszük alapul és meghatározzuk az egyes túlterhelések súlyát, a vizsgált időtartamon belül, majd a súlyok értékét összeadjuk, ami kiad egy átlagos túlterhelést a grafikonból vett értékek és időtartamok alapján. Ezután meghatározzuk az egyes túlterhelési értékek súlyát egy átlagos túlterheléshez.

$\Sigma \Delta n_y = \Sigma n_{y_i} \Delta t / 87548 = n_{y \text{ átlag}}$  a vizsgált tervezési grafikon időarányos adatai szerint

$$0,0017 + 0,02 + 0,00456 + 0,0059 + 0,144 + 0,085 + 0,28 + 0,456 = 0,9971$$

Ez az érték lesz tehát a nevezőben, mint időarányos, a tervezett feladatok súlyozott túlterhelése. Ha ezt az értéket elemezzük, azt látjuk, hogy a tervező úgy igyekszik meghatározni a repülőgép tervezett túlterhelését, hogy az a teljes repülési időtartamra vetítve ne nagyon térjen el a vízszintes repülés  $n_y = 1$  értékétől.

Ezután, a fentiekhez hasonlóan meghatározzuk a repülőgép által ténylegesen, az addigi repült időig elszenvedett túlterheléseket.

Összegyűjtjük  $n_y^{\text{tényleg}}$  a tervezettet meghaladó - maximális- tényleges értékeit a hozzájuk tartozó „ $\Delta t$ ” időtartamokkal együtt, majd a fentiekhez hasonlóan átlagot képezünk.

Tételezzük fel, mivel most ilyen konkrét adattal nem rendelkezünk, hogy  $n_{y \text{ átlag}}^{\text{tényleg}} = 1,7$ .

Ez azt jelenti, hogy az eltelt 800 repült óra alatt a repülőgépek átlagos terhelése a tervezett közel 1,0 helyett 1,7 szerez értékkel meghaladta a tervezettet, a tényleges repült időt a tényleges terhelések figyelembe vételéhez ezzel kell korrigálni. Mivel a repült idő 800 óra volt, a tényleges terhelés miatt

$$\zeta_t^* (n_y^{\text{tényleg}}) = \frac{\zeta_{\text{szám.}} (n_y^{\text{tényleg}})}{\zeta_{\text{mért.}} (n_y^{\text{terv.}})} = \frac{1,7}{1} = 1,7$$

értéket, kell az átállásnál alapul venni.

A repülőgép adott esetben a 2400 repült órából tehát nem 800 repült órát használt fel hanem 1360 órát, ami több mint a fele az engedélyezett üzemidőnek.

A MIG-29 repülőgépek átállításánál mivel az új lényegesen nagyobb repült idők jelentősen megközelítették a korábbi 2400 repült órát, vagyis a teljes üzemidő tartalékot, ezért új teljes üzemidőt határoztak meg 4000 repült órában<sup>4</sup>. Ennek technikai megalapozását úgy érték el, hogy az átállított repülőgépek szerkezetét fáradási repedések szempontjából átvizsgálták, és minden repedt, fáradt teherviselő elemet, tartót, csomópontot újakra cseréltek, valamint az üzembentartási munkafelsorolás korábbi munkapontjait kiegészítették a korábbi ipari felújítás főbb pontjaival.

<sup>4</sup> Az új üzembentartási rendszer műszaki dokumentációjának és az informatikai támogató rendszer (ARM-OK) átadása után a gyártó bejegyezte a repülőgépek formulájába az átállás tényét. A repülőgépek módosított, új, teljes műszaki üzemideje 4000 óra, 40 évben lett meghatározva [22].

## EREDMÉNYEK, KÖVETKEZTETÉSEK

A korszerű repülőgépen a fedélzeti adatrögzítő rendszer folyamatosan méri és rögzíti a szerkezet által elszenvedett túlterheléseket, azok nagyságát és időtartamát annak érdekében, hogy az üzemeltetés folyamán bármikor megállapítható legyen a repülőgép hátralevő fáradási tartaléka.

Vizsgálataim alapján bebizonyosodott, hogy a repülőgép eredeti repült idejét meg kell szorozni a sérülékenységi index-el, és akkor kapjuk meg az üzemeltetési rendszer átalakítása utáni újra induláshoz az érvényes új repült időt.

Az elvégzett vizsgálatok eredményeként megállapítom, hogy:

- az üzemidővel rendelkező berendezéseket a saját üzemidejük alapján, a kopás, paraméter eltérés alapján meghibásodó berendezéseket az időközönkénti karbantartásoknál feltárt adatoknak megfelelően kell tervezni;
- mivel a repülőgépben nincs önellenőrző rendszer, ami állandóan figyel és integráltan követi a berendezésekre ható túlterheléseket, így a továbbiakban a fedélzeti adatrögzítő paramétereinek felhasználásával kell figyelni, és időközönként ki kell számítani a sérülékenységi indexet, illetve a korrigált üzemidőt;
- A vadászipülőgépek harcász állapotának tartós fenntartása, illetve a beépített fáradási tartaléknak tényleges harci felhasználáshoz történő megőrzése érdekében minimumra kell csökkenteni a légi bemutatókon a nagy túlterheléssel bemutatott légi „akrobatikát”;
- Az eredetileg nem állapot szerinti üzemeltetésre készült repülőgépeket át lehet állítani állapot szerinti üzemeltetésre, azonban ehhez meg kell vizsgálni annak műszaki állapotát, a feltárt meghibásodásokat ki kell javítani, meg kell határozni az átállításkor még meglevő fáradási tartalékot, és ennek figyelembe vételével a ténylegesen ledolgozott üzemidőt;

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] A repülési elmélet alapjai, tankönyv, Honvédelmi Minisztérium, 1962.
- [2] A repülő szerkezetek repülésének és harci manőverezésének dinamikája, módszertani segédlet, A Magyar Néphadsereg Repülőfőnökség Kiadványa, 1989.
- [3] ALEKSANDROV, V. G. – MIRCIMOV, V. V. – IVLEV, Sz. P. – MAJOROV, A. V. – BORSCSKOV, K. V. – HAJMOVICS, I. A. Repülőmérnökök kézikönyve. Transzport könyvkiadó, Moszkva, 1973. pp. 65-72, 81-83, 94-95, 127-129, 157-165, 171-183.
- [4] БАРКОВСКИЙ, В. И. Исследования по обеспечению перевода самолётов МиГ 29 ВВС Венгрии на эксплуатацию по техническому состоянию. Технический отчёт, 2002.
- [5] BARNER, W. McCormick Aerodynamics aeronautics, and flight mechanics. John Wiley & Sons, Inc. 1995.
- [6] БЕРЗИН, Г. С. Летательные аппараты. Основы аэродинамики динамики полёта и Конструкции. ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1972. pp. 110-121, 132-139, 210-216.
- [7] БЮШГЕНС, Г. С. – СТУДНЕВ, Р. В. Динамика самолёта пространственное движение, Машиностроение, Москва, 1983.
- [8] BÉKÉSI, B. A repülőgépre korábban hatott terhelések vizsgálata a fedélzeti adatrögzítő adatai alapján. Repüléstudományi Közlemények különszám, Szolnok, 2006. április 21. (CD-ROM).
- [9] Gripen Fatigue and Damage Tolerance Management. Saab Military Aircraft, 39AA09Bis:001 IssueB. pp. 3-10.
- [10] ГУДКОВ, А. И. Лешаков, П. С. Внешние нагрузки и прочность летательных аппаратов. Машиностроение, Москва, 1968. pp. 60-72, 89-118.
- [11] JEREB, G. Aerodinamika és repüléselmélet II., Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987.
- [12] JOVVIK, I. A korszerű repülőgépek aerodinamikai jellemzői. Budapest, 1982. pp. 769-778, 802-815, 848-857.
- [13] ЛЫСЕНКО, Н. М. Практическая аэродинамика манёвренных самолётов. Военное Издательство Министерства Обороны СССР, Москва, 1977. pp. 99-115, 238-266, 339-354.
- [14] ПОДРЕД. Мхитаряна, А. М. Динамика полёта, Машиностроение, Москва, 1971.
- [15] NAGY, Sz. Repülőtechnika szerkezetana I. Kilián György Repülő Műszaki Főiskola, Szolnok, 1974.
- [16] ОСТОСЛАВСКИЙ, И. В. – Стражева, И. В. Динамика полёта. Машиностроение, Москва, 1969. pp. 280-281.
- [17] RÁCZ, E. A repülés mechanikája, Tankönyvkiadó, Budapest, 1953.
- [18] RÁCZ, E. Repülőgépek, Tankönyvkiadó, Budapest, 1985.
- [19] ТАРАСЕНКОВ, А. М. – Брага, В. Г. – Тараненко, В. Т. Динамика полёта и боевого манёврирования летательных аппаратов. 1984.
- [20] ТУРКИНА, К. Д. Конструкция летательных аппаратов. ВВИА им. Н. Е. Жуковского, 1972. pp. 9-19, 36-40, 455-459.
- [21] VARGA, F. A légi harc változása az I. világháborútól napjainkig különös tekintettel a repülőgépek manőverezése művészetének és tudományának gazdagodására, a repülőgépek fegyverzete és repülési tulajdonságai fejlődése figyelembevételével. PhD értekezés, Budapest, 2002. pp. 4, 102-109.
- [22] VONNÁK, I. P. A katonai repülőgépek „állapot szerinti” üzemeltetése és annak szükségessége. Repüléstudományi Közlemények különszám, Szolnok, 2006. április 21. (CD-ROM).

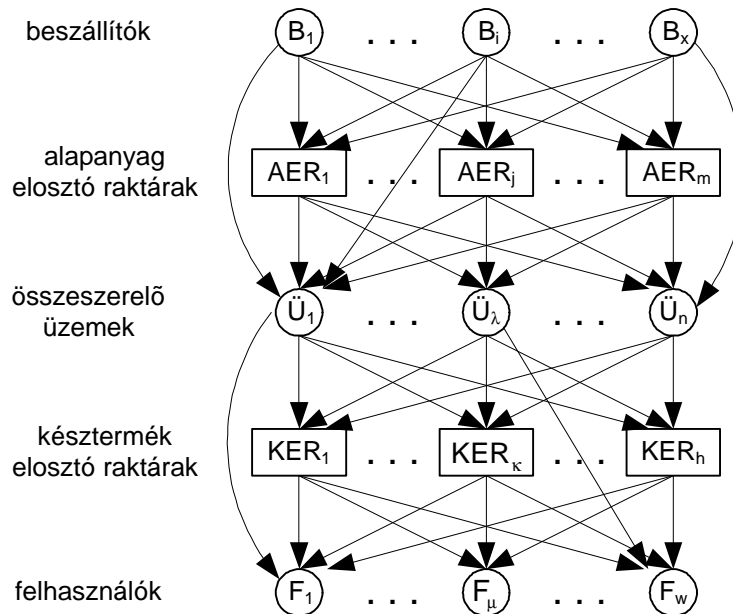
## **HÁLÓZATSZERŰEN MŰKÖDŐ ÖSSZESZERELŐ RENDSZER ELOSZTÓJÁRATAINAK LOGISZTIKÁVAL INTEGRÁLT TERVEZÉSI MÓDSZEREI ÉS A VÁLTOZATOK ÖSSZEHASONLÍTÓ VIZSGÁLATA**

Jelen tudományos dolgozat előzménye, hogy a korábbi publikációkban részletezett hálózatszerűen működő összeszerelő rendszer esetén a felhasználók késztermék igényeit a szerelőüzemekhez rendelő heurisztikus algoritmusok vizsgálata során a célfüggvény - mint egyszerűsített költségfüggvény – meghatározásakor termékenkénti közvetlen kiszállítást (ingajáratos) tételeztünk fel. A dolgozat a korábban felvázolt modellre támaszkodva részletezi, hogy az elosztási feladatoknál a több termékre összevont ingajáratok és körjáratok segítségével történő megoldása milyen költségcsökkenést eredményez a termékenkénti ingajáratokhoz képest. A szerzők a dolgozat első részében ismertetik a járattervezési algoritmusok leírását, illetve az ingajáratokon kívül kedvezőbb megoldást jelentő különböző körjárat típusok ismertetését, úgymint a szerelőüzemektől egy felhasználóhoz történő gyűjtőjáratot, egy szerelőüzemtől a felhasználókhoz történő elosztójáratot, valamint a vegyes járat mindkét modelljét (gyűjtést követő elosztójárat és kevert körjárat). A dolgozat következő fő tartalmi egységben egy egyszerű számpéldán keresztül bemutatásra kerülnek az ismertetett heurisztikus algoritmusok is különböző típusú körjáratok közbeiktatásának vizsgálatánál. A dolgozat befejező részben kerül sor a bemutatott modellekhez kapcsolódó módszerek (összevont ingajáratok, körjáratok) vizsgálati eredményeinek kiértékelésére, összehasonlítására, valamint az elosztási rendszer optimális működtetéséhez szükséges további feladatok megfogalmazására, illetve az adatstruktúra változásának hatásaira.

### **BEVEZETÉS**

A hálózatszerűen működő logisztikával integrált összeszerelő rendszer alatt azt értjük, amikor a termelés-tervezés a beszerzési és az elosztási logisztikai rendszerrel integráltan kerül megtervezésre, vagyis nemcsak a termelési, hanem a logisztikai erőforrások és tényezők együttes optimumát keressük. A hálózatszerűség azt jelenti, hogy ugyanazt a terméket több, térben különböző helyeken lévő szerelőüzem is elő tudja állítani, a szereléshez szükséges egyes alkatrészeket több térben különböző elhelyezkedésű beszállítótól lehet beszerezni. A hálózatszerűség továbbá azt is jelenti, hogy az alkatrész beszerzés és a késztermék elosztás lehet közvetlen és közvetett, azaz elosztóraktáron keresztül. A hálózatszerűségnél a logisztikával integrált termelés-tervezés így kitér arra is, hogy a kapacitáskorlátokat és feltételeket figyelembe véve a felhasználói igényeket kielégítve a megfogalmazott célfüggvények szerint keressük az optimális megoldást. A hálózatszerűen működő összeszerelő rendszernek, mint a logisztikával integrált termelési rendszer matematikai modellezésével és optimalizálásával a nemzetközi szakirodalomban nem találtunk még kezdeti próbálkozást sem. Ugyan ezen rendszerek leírása számos helyen megtalálható, de matematikai modellezésére és optimalizálására legfeljebb csak utalások találhatók. A nemzetközi szakirodalomban mindössze a logisztikával integrált termelés-ütemezésre találtunk jelentős eredményeket [7, 13, 14, 15]. Ezekből megállapítható, hogy a használatos célfüggvények és feltételek összhangban vannak az általunk is használatosakkal. Ugyanakkor az általunk felvázolt rendszerben a célfüggvényeket és feltételeket más formában lehet leírni, ebből következik, hogy az optimalizálásra is csak az ezekben felvázolt elveket lehetett használni. Mindezek tették azt szükségessé, hogy ezen logisztikai modellek megoldásának a Miskolci Egyetem Anyagmozgatási és Logisztikai Tanszékén ezen területen elért jelentős eredményekre támaszkodjunk [1, 2, 4, 5, 8]. A termelés-ütemezésnél messzemenően figyelembe kell venni,

hogy az egy telephelyes termelési formák hálózatszerűen működő termelési rendszerekké (1. ábra) alakultak, ill. alakulnak át. A felvázolt modellben adottnak tekintjük az egyes felhasználók egyes késztermékekből megrendelt mennyiségét egy adott időszakban.



1. ábra. Hálózatszerűen működő összeszerelő rendszer

A rendszer a következő egységekből épül fel: központi szerepet töltenek be a szerelőüzemek ( $\ddot{U}_\lambda$ ), amelyeket megelőznek az alkatrész elosztó raktárak ( $AER_j$ ), illetve amelyeket a készáru elosztóraktárak ( $KER_\kappa$ ) követnek. Az alkatrészeink beszállítása a fent említett szerelőüzemekbe történhet: közvetett módon, azaz elosztóraktárakon keresztül, illetve közvetlen beszállítással a beszállítók ( $B_i$ ) által az elosztóraktárak elkerülése esetén. A késztermékeket hasonló módon lehet kiszállítani a felhasználókhoz ( $F_\mu$ ), azaz közvetlenül a szerelőüzemekből, illetve közvetett módon a készáru elosztóraktáron keresztül.

E bonyolult, nagyméretű, hálózatszerű logisztikai rendszer optimális működtetése, teljesen újszerű elméleti megalapozást igényelt a tervezési és irányítási módszereknél [6, 16, 17]. A megoldandó feladat egy logisztikával integrált szerelésütemezési feladat, amelybe beletartozik a késztermékek elosztása, készletezése és az alkatrészek készletezése is. Ezek megoldásánál különböző célfüggvényeket és feltételeket kell, illetve lehet figyelembe venni. Első esetként az optimalizálásnál a költségfüggvényt választottuk célfüggvényként, mely komponenseit a [9] dolgozatban részleteztünk. A vázolt, hálózatszerűen működő logisztikai rendszer költségfüggvényében szereplő nagy számú optimalizálandó paraméter és a rendszer nagy méretei miatt az optimalizálást egy egymáshoz hierarchikusan kapcsolódó visszacsatolós, többlépcsős heurisztikus módszerrel oldjuk meg, aminek moduljait a [10] tudományos munka mutatta be. A szerzők a [12] publikációkban már megfogalmazták az egyes késztermékek szerelő üzemekhez való hozzárendelés alapelveit, megoldási lehetőségeit és heurisztikus algoritmusait. E dolgozat a különböző körjárat típusok szemléltetését, illetve a járat tervezési algoritmusok leírását ismerteti. A szerzők a dolgozat fő tartalmi egységében egy egyszerű számpéldán keresztül végzik el a bemutatott járat típusok összehasonlítását, valamint a tudományos munka vizsgálati eredményeinek kiértékelését.

## A modell teljes költségfüggvénye

A korábban felvázolt modellben a teljes költségfüggvény a következőképp nézett ki:

$$K = K_V + K_{SZ} + K_T + K_M + K_{AM} + K_{\cdot} + K_R + K_D > \min. \quad (1)$$

ami az alkatrész vásárlási költség ( $K_V$ ), szállítási költség ( $K_{SZ}$ ), tárolási költség ( $K_T$ ), a szerelési költség ( $K_M$ ), a szerelősorok átállítási költség ( $K_{AM}$ ), a sorok állásából származó veszteségi költség ( $K_Y$ ), a késztermék raktározási költség ( $K_R$ ), és az elosztási költség ( $K_D$ ) összegeként adódik.

A korábban felvázolt modellben az (1) teljes költségfüggvényt leegyszerűsítettük és csak az elosztási és a szerelési költségeket vettük figyelembe az évi késztermék igények üzemek közötti optimális elosztásnak kielégítése során. Ugyanis ezen modul nem foglalkozik a szerelés és a kiszállítás ütemezésével, ezért nem vehetőek számításba az átállítási költségek, az alkatrész és késztermék tárolási költségek, illetve a számításba vett költségek is globálisak, egyszerűsítettek. A fent említett költségkomponenseket nem kell bevonni az optimalizálásba, mert a hozzárendelés ezen léptékénél nem ismeretese, de a későbbi modulokban majd figyelembe vesszük és a visszacsatolás elvén hatása is megjelenik.

### A hozzárendelés egyszerűsített célfüggvénye a $k$ -edik termékénél

$$K_K^k = K_M^k + K_D^k > \min. \quad (2)$$

ahol  $K_M^k$  a szerelési költség,  $K_D^k$  pedig az elosztási költség. A feladat során adott a  $\mathbf{Q}$  mátrix, amely megmutatja az  $\mu$ -edik felhasználó által a  $k$ -edik késztermékből megrendelt mennyiséget. Keressük az  $\mathbf{Y}$  mátrixot, amely azt adja meg, hogy

- a  $k$ -edik terméket a  $\mu$ -edik felhasználó melyik szerelőüzemből kapja (**a** eset), tehát  $y_{..}^k$  csak 0

$$\text{vagy 1 értéket vehet fel a következő feltétellel: } \sum_{i=1}^n y_{..}^k = I; \quad (3)$$

- vagy a  $k$ -edik készterméket a  $\mu$ -edik felhasználó milyen arányban kapja a  $l$ -edik szerelőüzemből (**b** eset) az alábbi feltételekkel:  $0 \leq y_{..}^k \leq 1$  és  $\sum_{i=1}^n y_{..}^k = I$ . (4)

### Az elosztási költségfüggvény a $k$ -edik termékénél

$$K_D^k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^w k_k^{SZ} Q_{kj} y_{..}^k s_{..}, \quad (5)$$

ahol  $k_k^{SZ}$  a  $k$ -edik késztermék fajlagos szállítási költsége,  $s_{..}$  a szállítási úthossz,

### A szerelési költségfüggvény a $k$ -edik termékénél

$$K_M^k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^w Q_{kj} y_{..}^k k_{k.}^M, \quad (6)$$

ahol  $k_{k.}^M$  a fajlagos szerelési költsége a  $k$ -edik terméknek a  $l$ -edik üzemben.

### A hozzárendelés egyszerűsített célfüggvénye a $k$ -edik termékénél

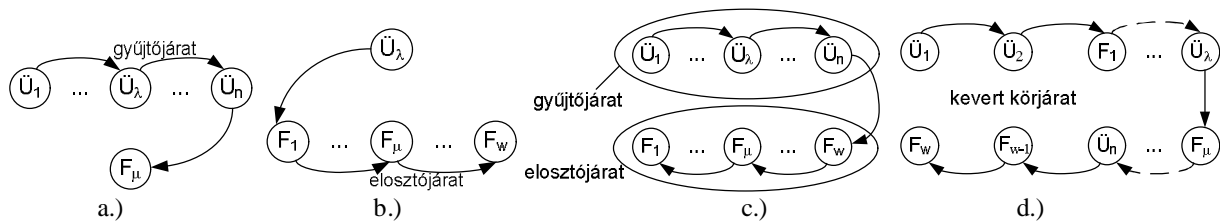
A számításba vett egyszerűsített költségfüggvények alapján a (2) célfüggvény a következő formában írható fel [11]:

$$K_K^k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^w Q_{kj} y_{..}^k (k_k^{SZ} s_{..} + k_{k.}^M) > \min. \quad (7)$$

Első lépésben megvizsgáljuk, hogy körjáratok figyelembevételével az egyszerűsített költségfüggvény hogyan módosul a közvetlen kiszállításhoz képest.

## JÁRATTÍPUSOK ISMERTETÉSE

- több szerelőüzemtől egy felhasználóhoz (gyűjtőjárat) (2/a. ábra);
- egy üzemtől több felhasználóhoz (elosztójárat) (2/b. ábra);
- vegyes járat (gyűjtő- és elosztójárat egymásra épülése) (2/c. ábra);
- vegyes járat (kevert körjárat) (2/d. ábra).



2. ábra. Körjáratípusok ismertetése

### Megoldási filozófia

- adott az üzemek-felhasználók induló hozzárendelése (közvetlen kiszállítás) vonaljáratokkal;
- elosztójáratok alkalmazása során meghatározásra kerül a szállítási költség;
- vizsgálni kell, hogy a elosztójáratok egyes változataival
  - milyen mértékben csökkennek a szállítási költségek;
  - a hozzárendelés módosításával lehet-e további összköltséget csökkenteni.

## KÉSZTERMÉKEK ELOSZTÁSA

A 2/b. ábra szerinti tiszta elosztójáratokat tételezünk fel, ami azt jelenti, hogy nem ékelődik közbe körjáratoknál szerelőüzem. Változó az  $Y$  hozzárendelési mátrix.  $D$ . a járatkapacitás, ami azt mutatja meg, hogy hány darab egységakomány fér el a  $\bullet$ -edik járműtípuson.  $q_{\bullet\bullet}^k = Q_{\bullet\bullet}^k y_{\bullet\bullet}^k$  az anyagáram-intenzitás mátrix, ennyit kell a  $k$ -edik termékből a  $\bullet$ -edik üzemnek a  $\bullet$ -edik felhasználóhoz szállítani. Járatszám mátrix:

$$r_{\bullet\bullet}^{\bullet k} = \frac{1}{D_{\bullet}} (\text{Entier}(\frac{q_{\bullet\bullet}^k}{e_k}) + 1), \quad (8)$$

ahol  $e_k$  az egységakomány-vektor, ami azt mutatja meg, hogy a  $k$ -edik termékből hány darab fér el az ER-ban. A  $\bullet$ -edik üzemről kiinduló ingajárat (továbbiakban szólójárat) a  $k$ -edik termékénél a  $\bullet$ -edik felhasználóhoz a  $\bullet$ -edik járműtípus esetén, vagyis a 100%-os kihasználtságú „egész” járatok száma, amelyek csak a  $k$ -edik terméket szállítják (homogén járatok):

$$r_{\bullet\bullet}^{\bullet k} = \text{Entier}(r_{\bullet\bullet}^{\bullet k}). \quad (9)$$

A  $\bullet$ -edik üzemről kiinduló „maradék” termékek összessége a  $\bullet$ -edik felhasználóhoz a  $\bullet$ -edik járműtípus esetén:

$$r_{\cdot\cdot}^{\cdot*} = \sum_{k=1}^g (r_{\cdot\cdot}^{\cdot k} - \text{Entier}(r_{\cdot\cdot}^{\cdot k})). \quad (10)$$

A továbbiakban csak a törtrakományok járatba szervezését kell megoldani. Ebben az esetben is még további két változat lehetséges:

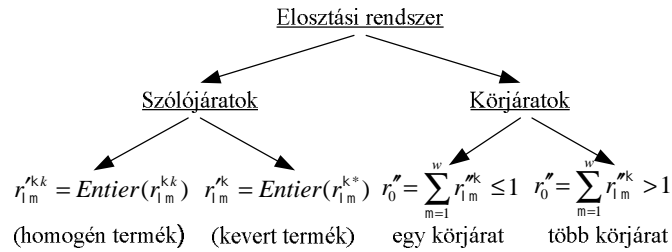
- (10)-ből szólójárat:  $r_{\cdot\cdot}^{\cdot*} = \text{Entier}(r_{\cdot\cdot}^{\cdot*})$ , (11)

amely többfajta terméket szállít (kevert termékek);

- illetve törtjárat:  $r_{\cdot\cdot}^{\cdot\cdot} = r_{\cdot\cdot}^{\cdot*} - r_{\cdot\cdot}^{\cdot*}$ . (12)

A  $\bullet$ -adik üzemből a vizsgált időszak alatt összesen kimenő szólójárat a  $\bullet$ -edik felhasználóhoz a  $\bullet$ -adik járműtípus esetén:

$$r_{\cdot\cdot}^{\cdot 0} = \sum_{k=1}^g r_{\cdot\cdot}^{\cdot k} + r_{\cdot\cdot}^{\cdot\cdot}. \quad (13)$$



3. ábra. Az elosztási rendszer csoportosítása

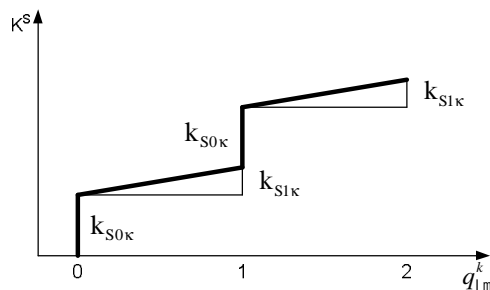
### Szállítási költségfüggvény pontosítása

Az elosztójáratok megoldásának lépései során csak a felhasználók szerveződnek törtjáratoknál körjáratba. A korábbi modell szerint optimalizált hozzárendelés esetére megvizsgáljuk az új modell szerinti teljes költséget (A két modell különbsége a jármű-kihasználtsági tényező figyelembevételéből, illetve a körjárat típusok alkalmazásából adódik a szállítási költségek tekintetében). Összehasonlítjuk a két változat költségeit és megvizsgáljuk a hozzárendelés korrigálásának lehetőségeit.

A  $\bullet$ -adik szerelőüzemből a  $\bullet$ -edik felhasználóhoz egy darab szólójárat költsége a  $\bullet$ -adik járműtípus esetén:

$$K_{SI\ m}^{kB} = (k_{S0k} + j_{Im}^k k_{S1k}) s_{Im}, \quad (14)$$

ahol  $k_{S0\cdot}$  az üres jármű fajlagos szállítási költsége a  $\bullet$ -adik típus járműnél,  $j_{Im}^k$  a járatkihasználási tényező,  $k_{S1\cdot}$  pedig a jármű terhelésétől függő fajlagos szállítási költség. A  $k_{S0\cdot} / k_{S1\cdot}$  viszony egy adott járműtípusra legyen 2.

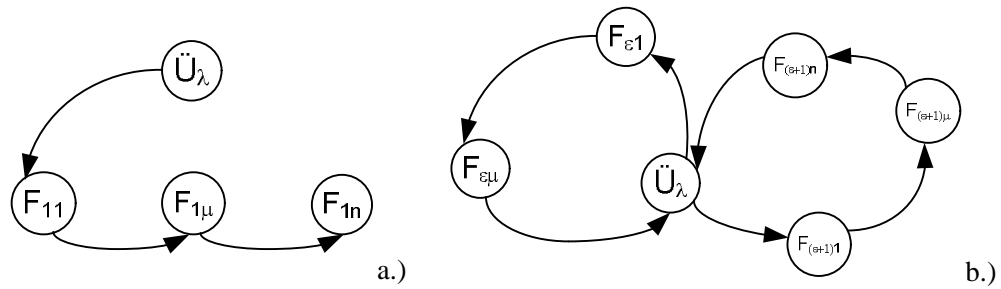


4. ábra. Fajlagos szállítási költség változása a szállítandó mennyiség függvényében.

A  $\bullet$ -adik üzemből kiinduló járatok költsége a  $\bullet$ -adik járműtípus esetén, ha a törtrakomány egy körjáratba befér:

$$K_{sl}^{kB} = \sum_{m=1}^w (k_{s0k} + k_{s1k}) r_{lm}^{k0} s_{lm} + (k_{s0k} \sum_{m \in \Omega_l} s_{lm} + k_{s1k} \sum_{m \in \Omega_l} j_{lm}^k s_{lm}), \quad (15)$$

ahol az első tag az összes szőlőjárat költsége a  $\bullet$ -adik üzemből a felhasználókhoz a  $\bullet$ -adik járműtípus esetén. A második tag egy körjárat szállítási költsége a  $\bullet$ -adik üzemből az összes felhasználóhoz a  $\bullet$ -adik járműtípus esetén (5/a. ábra).  $\bullet \cdot l \cdot \bullet$  azon felhasználók halmaza, amelyek részei a  $\bullet$ -adik üzemből kiinduló körjáratnak.



5. ábra. Egy- vagy több körjáratos modell

A  $\bullet$ -adik üzemből kiinduló járatok költsége több körjárat esetén (5/b. ábra):

$$K_{sl}^{kB} = \sum_{m=1}^w (k_{s0k} + k_{s1k}) r_{lm}^{k0} s_{lm} + k_{s0k} \sum_{e=1}^{p_l} \sum_{m_e \in \Omega_{le}} s_{lm_e} + k_{s1k} \sum_{e=1}^{p_l} \sum_{m_e \in \Omega_{le}} j_{lm_e}^k s_{lm_e} \quad (16)$$

ahol  $p$ , a  $\bullet$ -adik üzem esetén a körjárat szám,  $\bullet \cdot l \cdot \bullet$  azon felhasználók halmazát foglalja magába, amelyek az  $\bullet$ -adik körjáratba tartoznak.

## Elosztó körjáratok tervezése

Az elosztójáratok tervezésénél a járatkihasználásával arányos minimális szállítási költség használható fel célfüggvényként. A feladat megoldása szétválasztódik egy- illetve több járatra visszavezethető esetekre.

- egy járatval megoldható feladat:  $r_0'' = \sum_{m=1}^w r_{lm}''^k \leq 1$ ; (17)

- több járatval oldható meg a feladat, ha  $r_0'' = \sum_{m=1}^w r_{lm}''^k > 1$ . (18)

## Egy elosztó körjáratos rendszer tervezése

A célfüggvény a következő formában írható fel:

$$K_{sl}^{kB} = k_{s0k} \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n s_{ij} x_{ij} + k_{s1k} \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n j_{ij}^k s_{ij} x_{ij} \rightarrow \min., \quad (19)$$

ahol  $n$  a körjáratban résztvevő felhasználók száma,  $x_{ij}$  pedig azt mutatja meg, hogy az  $i$ - $j$  viszonylat része-e a körútnak, vagy sem (0 vagy 1 értéket vehet fel).



A feladat egy körutazási feladat, ahol  $K_{sl}^{kB}$  a körút szállítási költségét jelenti a  $\bullet$ -adik járműtípus esetén. Feltételként adódik, hogy  $\sum_{i=0}^n x_{ij} = 1$ , és  $\sum_{j=0}^n x_{ij} = 1$ . (20)

A (20) feltételek azt fejezik ki, hogy minden állomásra (beleértve a szerelőüzemet is) egy járatnak csak egyszer lehet belépnie, illetve csak egyszer lehet kilépnie. További feltétel, hogy  $S_k = \{s_{01}; s_{12}; s_{23}; \dots; s_{(k-1)k}; s_{k(k+1)}; \dots; s_{(n-1)n}; s_{n0}\}$ , vagyis a körjárat elemeinek egy láncolatot kell alkotniuk.

A (19) célfüggvény (20) feltételek közötti optimalizálása, vagyis a körút járatkihasználással arányos szállítási költségének minimalizálása egy klasszikus körutazási feladat, amely többféle módszerrel oldható meg. A szerzők a költséggel súlyozott útmátrix ( $s_{ij}^* = k_{s0k} s_{ij} + k_{s1k} j_{1m}^k s_{ij}$ ) oszlopösszegzésén alapuló heurisztikus módszert alkalmazzák, amellyel bizonyíthatóan mindig optimum közeli megoldás adódik. Az oszlopösszegnek megfelelő sorrendet teszünk az állomások között. Válasszuk a sorrendnek megfelelően az első hármát, vagyis azt a legkevesebb állomásszámot, amelyből már körjárat képezhető. Vesszük a sorrendben következő állomást, és azon két állomás közé tesszük, amelynél a körút költsége minimálisan növekszi. Addig folytatjuk az állomások bevonását, míg azok el nem fogynak. Nagyszámú szimulációs vizsgálat azt mutatja, hogy az optimumhoz nagyon jól közelíthető megoldást az oszlopösszegek csökkenő sorrendje adja.

A feladat megoldásának algoritmusa itt található meg [2]. Ezen algoritmus felhasználásával végeztük el a számításokat, amelyhez a következő megjegyzést kell tenni. Ha az oszlopösszeg több állomásnál azonos, vagy az állomások beillesztése során a minimális költségnövekedés több esetben azonos:

- tetszőlegesen választjuk ki a megfelelőt;
- vagy valamennyi változatra külön-külön végig vezetjük az algoritmust.

Az első eset rövidebb számítási időt igényel, mint a második, ugyanakkor lehet, hogy az utóbbi jobb megoldást ad. Ha az állomások első próbálkozásánál a költségnövekedés  $\Delta K_s = 0$ , akkor a rövidített algoritmusnál nem kell a további változatot vizsgálni.

### Több elosztójáratos rendszer tervezése

Több elosztójárat alkalmazása akkor válik szükségessé, ha a  $\bullet$ -adik szerelőüzemből kilépő körjáratba szervezhető törtrakományok összege nagyobb, mint egy, vagyis a kitűzött szállítási feladatot csak több járatral lehet megoldani. Ekkor tiszta (ingajárat nélküli) elosztójárat tervezés esete jelenik meg. A továbbiakban a tiszta, több körjáratos tervezés módszertanával foglalkozunk.

Kiszámítható egy  $r_{1m}^{''k}$  vektor esetére egy optimális járatszám, amely  $p. = \text{Entier} \frac{1}{\varphi_0} \sum_{i=1}^w r_{1m}^{''k} + 1$ , ahol  $f_0$  elvárható (optimálisnak ítélt) járatkihasználási tényező, ami alatt azt értjük, hogy hány százalékos kihasználást enged meg a tervezés során. Könnyen belátható, hogy  $f_0$  túlzott növelése a körutak összhosszát is növelik. A tiszta, több körjáratos tervezésnél a célfüggvény a következőképp módosul:

$$K_{sl}^{kB} = k_{s0k} \sum_{e=1}^{p_1} \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n z_{ie} s_{ij} x_{ij} + k_{s1k} \sum_{e=1}^{p_1} \sum_{j=0}^n \sum_{i=0}^n z_{ie} j_{ij}^k s_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (21)$$

ahol  $\hat{\phantom{x}}$  a körjárat jele,  $z_i$  pedig azt mutatja meg, hogy az  $i$ -edik állomás az  $\bullet$ -adik járatba kerül vagy sem (szintén 0 vagy 1 értéket vehet fel), ill.  $s_{ij}$  útmátrix az  $i$ -edik és  $j$ -edik állomás közötti távolságot adja meg.

$$\text{További feltétel: } \varphi_0 \leq \sum_{i=1}^n r_{1i}^{''k} z_{ie} \leq 1 \quad (\hat{e}=1 \dots p.) \quad (22)$$

A (21) és (22) összefüggések szerint az  $x_{ij}$  és  $z_i$  mátrixok optimalizálására egy heurisztikus algoritmus adható meg [3], melynek lényege, hogy az első üzemből kiindulva más-más járatokat képezünk úgy, hogy

mindig a legközelebbi felhasználót vonjuk be a járatba. Megvizsgáljuk a kiadódó járatok minden olyan állomását, amelyek több körjáratban is szerepelnek. Az így vizsgált körjáratoknál kihagyjuk az állomást és meghatározzuk, hogy a körjáratoknál a felhasználó kihagyása után hogyan csökken le a körjárat költsége. A kérdéses felhasználó abban a körjáratban marad, ahol a csökkenés minimális. Ha a csökkenés minimális értéke több körjáratnál azonos, akkor azt választjuk, amelynél a rakományok összege a legnagyobb. Ha pedig a törtjáratok összege is esetleg azonos, akkor abban a körjáratban marad a felhasználó, amelynél a körút hossza kisebb. A befejező lépés során meg kell még vizsgálni, hogy a (22) feltétel mely járatoknál nem teljesül. Azokat a járatokat, amelyekre a feltétel nem áll, szét kell a visszamaradottak között osztani úgy, hogy az összes állomás beépüljön, és a járatszám eggyel csökkenjen, illetve az összes körjárat szállítási költség minimális legyen. Ha ezen körjárat a leírt feltételek mellett nem osztható szét, akkor meg kell nézni, hogy a lezárt járatokba nem építhetők-e be a visszamaradt állomások úgy, hogy a (22) feltétel fennálljon.

## KÜLÖNBÖZŐ JÁRATTÍPUSOK HATÁSA A SZÁLLÍTÁSI KÖLTSÉGEKRE

A összehasonlítást egy konkrét számpéldán keresztül végeztük el, ahol az alapadatok a következők voltak:  $n=3$ ,  $w=6$ ,  $g=8$ . A  $Q = [q_{\mu}]$  rendelési mátrix ezer és hatezer db/időszak közötti értékeket vehet fel, mely értékek átlaga kétezer darab körül kell legyen. Meg kell még adni a szerelőüzemek  $C$  kapacitásmátrixát is:

$$Q_{\mu}^k = 2 \begin{bmatrix} 0.5 & 2.5 & 0 & 0 & 1.5 & 1 \\ 0 & 1 & 2 & 3 & 2 & 0 \\ 3 & 0 & 1 & 0.5 & 0 & 0 \\ 1.5 & 0 & 0 & 1 & 2.5 & 0 \\ 2 & 1.5 & 1 & 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 2 & 0 & 0 & 3 \\ 0 & 0.5 & 0 & 0 & 1 & 2 \\ 1 & 0 & 3 & 0 & 0.5 & 0 \end{bmatrix} [edb], C_{\lambda}^k = 4 \begin{bmatrix} 1.5 & 1 & 0.5 \\ 0 & 2 & 2 \\ 0.5 & 0.5 & 1.5 \\ 1 & 1.5 & 0 \\ 1.5 & 0 & 2.5 \\ 0.5 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1.5 & 0 & 1 \end{bmatrix} [edb]$$

Az  $S=[s_{\mu}]$  útmátrix (szerelőüzemek és felhasználók közötti) értékei 20 és 250 km között változhatnak, átlaguk 100 km körül kell legyen. A fajlagos szerelési költség értékeket is a korábbi példával megegyezően vettük fel:

$$S = 100 \begin{bmatrix} 0.2 & 0.8 & 1.5 \\ 2.5 & 0.6 & 1.2 \\ 1.8 & 2 & 1 \\ 0.6 & 0.5 & 1.5 \\ 2 & 1 & 2.5 \\ 2.2 & 1.2 & 0.2 \end{bmatrix} [km] K^M = k_0 \begin{bmatrix} 0.7 & 0.525 & 0.875 \\ 1 & 0.75 & 1.25 \\ 1.2 & 0.9 & 1.5 \\ 0.8 & 0.6 & 1 \\ 1.3 & 0.975 & 1.625 \\ 0.9 & 0.675 & 1.125 \\ 1.4 & 1.05 & 1.75 \\ 1.1 & 0.825 & 1.375 \end{bmatrix} [Ft / db]$$

Olyan adatstruktúrát vettünk fel, amely a célul kitűzött különböző járatípusok összehasonlításán kívül egyaránt alkalmas érzékenységi vizsgálatra, ill. a különböző optimalizálendő módszerek összehasonlítására is.

Az előzőekben ismertetett számpélda körjáratának tervezése során, a **b** esetre (4) vonatkozó  $Y$  hozzárendelési mátrixot tekintettük kiinduló adatnak, azaz adottnak tételezzük fel a szerelőüzemek felhasználókhöz történő hozzárendelését homogén ingajáratok figyelembevételével. Mivel ezen hozzárendelést már elvégeztük, így ezt most átvesszük az [18] dolgozatból:

$$Y^* = \begin{bmatrix} 1^{0^0} & 0^{0^0} & 0.33^{0.33^{0.33}} & 1^{0^0} & 1^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 1^{0^0} \\ 0^{0.8^{0.2}} & 0^{0^1} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^1} & 0^{0^0} & 0^{1^0} & 0^{0^0} \\ 0^{0^0} & 0^{0^1} & 0^{0^1} & 0^{0^0} & 0^{0^1} & 0.5^{0.5^0} & 0^{0^0} & 0.33^{0^{0.67}} \\ 0^{0^0} & 0^{1^0} & 0^{0^1} & 0.5^{0.5^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} \\ 1^{0^0} & 0^{0.5^{0.5}} & 0^{0^0} & 0^{1^0} & 0.33^{0^{0.67}} & 0^{0^0} & 0^{1^0} & 1^{0^0} \\ 0.5^{0^{0.5}} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0^0} & 0^{0.33^{0.67}} & 0^{0^1} & 0^{0^0} \end{bmatrix}$$

Az  $Y^*$  háromdimenziós mátrixot úgy írjuk át a tömörebb ábrázolás érdekében, hogy  $Y^* = [y_{\cdot k}^*]$ , vagyis a síkban az  $y_{\mu k}$  mátrix szerepel, azaz a mátrix sorai a felhasználókat jelentik, az oszlopok pedig a termékeket, valamint a  $\lambda$  értéke kisebb számokkal a lapmélységet kifejezve oldalt kissé eltolva jelenik meg.

Az  $Y^*$  hozzárendelési mátrixból könnyen kiolvasható, hogy az egyes szerelőüzemek az egyes felhasználóknak mely készterméket szállítják a csak homogén ingajáratok alkalmazását figyelembe vevő optimalizálás során.

A hozzárendelés eredménye homogén ingajáratok esetén

1. táblázat

Vevők	késztermékek kódja		
	1. üzem	2. üzem	3. üzem
1.	1,3,4,5,8	3	3
2.	-	1,7	1,2,5
3.	6,8	6	2,3,5,8
4.	4	2,4	3
5.	1,5,8	2,4,7	2,5
6.	1	6	1,6,7

Ahhoz, hogy a járműkihasználtságot különböző késztermékek együttszállításának figyelembevételével is helyesen határozzuk meg, fel kell venni az  $e_k$  egységgrakomány-vektort, ami azt mutatja meg, hogy a  $k$ -adik termékből hány darab fér el az adott ER-ban:

$$e_k = [120 \quad 50 \quad 250 \quad 100 \quad 60 \quad 150 \quad 360 \quad 20] \text{ [db/ER]}.$$

Ezt a vektort most állandónak tételezzük fel, de a későbbi hozzárendelések során más egységgrakomány-típusokat is figyelembe lehet venni.

Az egységgrakomány-vektor megadásával az előző táblázatból az Y hozzárendelési mátrix figyelembevételével elő lehet állítani, hogy az egyes szerelőüzemek az egyes felhasználóknak az egyes késztermékekből hány egységgrakománnyal szállítanak.

A hozzárendelési egységgrakományok száma homogén ingajáratok esetén 2. táblázat

Vevők	Homogén egységgrakományok darabszáma [db]		
	1. üzem	2. üzem	3. üzem
1.	9,8,30,67,100	8	8
2.		34,3	9,40,50
3.	14,100	14	80,8,34,200
4.	10	120,10	4
5.	25,34,50	40,50,6	40,67
6.	9	14	9,27,12

A táblázat elemeit a következő képlet segítségével számítottuk ki:  $h_{lm}^k = \text{Entier}\left(\frac{q_{lm}^k}{e_k}\right) + 1$ .

Itt kell megjegyeznünk, hogy az egységgrakomány darabszám meghatározásánál a tört-egységgrakományokat is egészként kezeljük – ahogy az az összefüggésből is jól látszik kerekítéssel élünk – , mert a járatoknál egységgrakományokra vonatkoztatott kihasználási tényezővel számoltunk, de a későbbi vizsgálatok során akár a termékekre vonatkoztatott kihasználási tényező is előtérbe kerülhet, ahol már eltekintünk a kerekítéstől.

Az inhomogén szállítási költségek meghatározásához elő kell állítani, hogy az egyes üzemek az egyes felhasználóknak összesen hány egységgrakománnyal szállítanak a 2. táblázat megfelelő elemeinek

összegzésével:  $h_{lm} = \sum_{k=1}^g h_{lm}^k$ .

Összes homogén egységgrakomány darabszáma 3. táblázat

Vevők	Összes egységgrakományszám [db]		
	1. üzem	2. üzem	3. üzem
1.	214	8	8
2.	-	37	99
3.	114	14	322
4.	10	130	4
5.	109	96	107
6.	9	14	48
Összesen	456	299	588

A szállítási költségek pontos meghatározásához meg kell adni, hogy hány darab egységgrakomány fér el az előbb megadott ER-típusból a •-adik járműtípuson. A járműtípust most is adottnak tételezzük fel, ugyanis jelen tudományos munka során nem tűztük ki célul a különböző járműtípusok hatékonyságának vizsgálatát:

$$D. = 48 \text{ [ER/jármű]}.$$

A járatkapacitás megadása után elő lehet állítani, hogy az egyes szerelőüzemek az egyes felhasználóknak összesen hány járatban szállítják ki az egységgrakományokat. A táblázatokban elől tüntettük fel a tele-járatokat (homogén és inhomogén ingajáratok) és / jel mögött tüntettük fel a szabad ER

számot, melyet csak törtjáratba lehet kiszállítani. A 4/a. táblázat a homogén esetet, míg a b. táblázat az inhomogén járatok esetét szemlélteti. A két táblázat segítségével megállapítható, hogy hány darab teli járatral lehet többet képezni inhomogén esetben, és ezzel hány darab egységgrakomány került át a törtjáratokból az „egész” szőlőjáratokba.

Az „egész” homogén ingajáratok és a maradék törtrakomány darabszáma 4/a. táblázat

Vevők	homogén szőlőjárat/törtrakomány (törtjárat) darabszám [db]		
	1. üzem	2. üzem	3. üzem
1.	0/9,0/8,0/30,1/19,2/4	0/8	0/8
2.		0/34,0/3	0/9,0/40,1/2
3.	0/14,2/4	0/14	1/32,0/8,0/34,4/8
4.	0/10	2/24,0/10	0/4
5.	0/25,0/34,1/2	0/40,1/2,0/6	0/40,1/19
6.	0/9	0/14	0/9,0/27,0/12
Összes	6/168 (12)	3/155 (10)	7/252 (14)

Összes „egész” ingajárat és a maradék törtrakomány darabszáma 4/b. táblázat

Vevők	szőlőjárat/törtrakomány szám [db]		
	1. üzem	2. üzem	3. üzem
1.	4/22	0/8	0/8
2.	-	0/37	2/3
3.	2/18	0/14	6/34
4.	0/10	2/34	0/4
5.	2/13	2/0	2/11
6.	0/9	0/14	1/0
Összes	8/72 (5)	4/107 (5)	11/60 (5)

A két táblázatból kiolvasható, hogy a 16 darab „egész” homogén szőlőjáratral ellentétben 23 darab „egész” inhomogén szőlőjárat képezhető, ami 43,75%-os növekedés, illetve ebből kifolyólag a maradék 575 egységgrakománnyal ellentétben csak 239 ER-t kell törtjáratban kiszállítani (ez pedig, több mint 58%-os csökkenés), illetve körjáratok esetén járatokba szervezni. A törtjáratok száma a homogén 36 darabról inhomogén esetben 15 járatra csökkent, ami szintén több mint 58%-os javulást jelent.

Az üzemek szintjén is folytatva a vizsgálódást, megállapítható, hogy az első üzem esetében 6 helyett 8 darab „egész” szőlőjárat képezhető inhomogén esetben, ami 33%-os növekedés, és ebből kifolyólag a 168 ER helyett csak 72 egységgrakományt kell törtjáratban kiszállítani (57%-os csökkenés), amellyel 5 járatra csökkent a törtjáratok száma, ami 58%-ot jelent. A második üzem esetén ugyanezen arányok sorrendben: 33%, 31% és 50%, tehát a legkisebb javulás ezen szerelőüzemnél figyelhető meg, míg a 3. üzem esetében észlelhető a legnagyobb mértékű fejlődés, mégpedig 57%, 76% és 64%.

Első lépésben kiszámítjuk a korábbi optimális hozzárendelés esetére a szállítási költségek értékét az új költségfüggvény (14) segítségével.

$$K_{s|m}^{kk} = (2k_{s0k} + k_{s1k})r_{1m}^{kk}s_{1m} + (2k_{s0k} + j_{1m}^{kk}k_{s1k})s_{1m} \quad (23)$$

ahol  $k_{s0k}$  az üres jármű fajlagos szállítási költsége a  $\bullet$ -adik típus járműnél,  $j_{1m}^k$  a járatkihasználási tényező ( $j_{1m}^{kk} = r_{1m}^{kk} - r_{1m}^{kk}$ ),  $k_{s1k}$  pedig a jármű terhelésétől függő fajlagos szállítási költség.  $k_{s0k}$  értéke a példában 12 Ft/km,  $k_{s1k}$  pedig legyen 6 Ft/km.

Felhasználónkénti, üzemenkénti költségek homogén szőlőjáratoknál [k<sub>0</sub>]-ban 5. táblázat

Vevők	homogén szőlőjáratok szállítási ktg.				homogén szőlőjáratok szerelési ktg.			
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	4375	2000	3750	10125	12900	1800	3000	17700
2.	-	3157,5	13005	16162,5	-	3150	8250	11400
3.	19845	5150	25625	50620	4000	1350	16750	22100
4.	1515	5612,5	3675	10802,5	800	5100	1500	7400
5.	21925	10800	21343,8	54068,8	5800	6600	9000	21400
6.	5527,5	3090	1560	10177,5	700	1350	12375	14425
Össz.	53187,5	29810	68958,8	151956,3	24200	19350	50875	94425

Hozzárendelés költségei termékenként homogén szőlőjáratok alkalmazásával 6. táblázat

Termék	homogén ingajáratok költségei [k <sub>0</sub> ]		
	szállítási	szerelési	összesen
1.	16667,5	7350	24017,5
2.	23780	16000	39780
3.	12425	11700	24125
4.	8757,5	6800	15557,5
5.	30206,25	22425	52631,25
6.	13422,5	9000	22422,5
7.	4447,5	10150	14597,5
8.	42250	11000	53250
Összes	151956,25	94425	246381,3

A 6. táblázatból megállapítható, hogy a legkisebb szerelési költség a 4. termék esetében áll fenn (6800 k<sub>0</sub>), ami természetes is, hiszen ennek a terméknek az egyik legalacsonyabb a fajlagos szerelési költsége. Ugyanakkor a legnagyobb szerelési költség az 5. termékénél (22425 k<sub>0</sub>) van, ami szintén nem meglepő, hiszen az egyik legnagyobb mennyiséget ebből a termékből igényelték a felhasználók, és a fajlagos szerelési költség is ennél a termékénél az egyik legmagasabb. A homogén ingajáratok szállítási költségeinek elemzése során a 7. termék esetében találhatjuk meg a legkisebb értéket (4447,5 k<sub>0</sub>), ami szintén abból adódik, hogy ebből a termékből rendelték a legkevesebb mennyiséget és az ERKE-be is ebből a termékből lehet a legtöbbet elhelyezni. Míg a legnagyobb szállítási költséget a 8. termék elosztása okozza (42250 k<sub>0</sub>), ami ennél a termékénél az egységgrakományban elhelyezhető kevés mennyiséggel magyarázható. Ugyanezen értékek az összköltség tekintetében a 7. termék esetén a legkisebb, melyet szorosán követ a fent leírtak alapján nem meglepő módon a 4. termék, míg a 8. termék estén a legnagyobb, mely alig több az 5. termék összköltségeinél. A szállítási költség szintén a 8. termékénél teszi ki az összköltség legnagyobb százalékát (79,3%), míg a 7. termékénél a legkisebb ugyanezen arány (30%).

## Inhomogén szőlőjáratok és elosztójáratok tervezése

Második lépésben megnézzük mekkora költségcsökkenés érhető el, ha együttl szállítást is lehetővé teszünk, tehát inhomogén szőlőjáratokat képezünk az első lépésben kiadódó homogén törtrakományok összevonásával.

$$K_{s|m}^k = (2k_{s0k} + k_{s1k})(r_{1m}^k + j_{1m}^k)s_{1m} + (2k_{s0k} + j_{1m}^k k_{s1k})s_{1m}, \quad (24)$$

$$\text{ahol } r_{1m}^k = \sum_{k=1}^n r_{1m}^{kk}, j_{1m}^k = \sum_{k=1}^n j_{1m}^{kk}, j_{1m}^k = \text{Entier} j_{1m}^k, j_{1m}^{kk} = j_{1m}^k - j_{1m}^{rk}.$$

Üzemenkénti szállítási költségek inhomogén tört- és egészjáratoknál ( $k_0$ ) 7. táblázat

Vevők	inhomogén törtjáratok szállítási kgt.				inhomogén egészjáratok szállítási kgt.			
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	535	2000	3750	6285	2400	0	0	2400
2.	-	1717,5	2925	4642,5	-	0	7200	7200
3.	4725	5150	2825	12700	10800	0	18000	28800
4.	1515	1412,5	3675	6602,5	0	3000	0	3000
5.	5125	0	6343,8	11468,8	12000	6000	15000	33000
6.	5527,5	3090	0	8617,5	0	0	600	600
Össz.	17427,5	13370	19518,8	50316,3	25200	9000	40800	75000

Harmadik lépésben azt vizsgáljuk, hogy a második lépésben megmaradt inhomogén törtrakományok szerelőüzemek szerinti körjáratokba szervezésével mekkora további költségmegtakarítás érhető el.

$$K_{sl}^k = \sum_{m=1}^w (2k_{s0k} + k_{s1k}) r_{lm}^{k0} s_{lm} + k_{s0k} \sum_{e=1}^{p_l} \sum_{m_e \in \Omega_{l_e}} s_{lm_e} + k_{s1k} \sum_{e=1}^{p_l} \sum_{m_e \in \Omega_{l_e}} j_{lm_e}^k s_{lm_e} \quad (25)$$

$$S_{\mu\mu} = 100 \begin{bmatrix} x & 3.5 & 1.8 & 0.2 & 1.5 & 4 \\ & x & 1.2 & 2 & 0.8 & 1.8 \\ & & x & 2.5 & 1 & 0.5 \\ & & & x & 3.8 & 3.5 \\ & & & & x & 0.4 \\ & & & & & x \end{bmatrix} [\text{km}]$$

A körjáratok szállítási költségének meghatározásakor szükségünk van az egyes felhasználók közötti távolságmátrix felvételére. Az  $S = [s_{\mu\mu}]$  útmátrix (felhasználók közötti) értékei 20 és 500 km között változhatnak, átlaguk 200 km körül kell legyen. Azért találhatók egymáshoz viszonylag közel elhelyezkedő felhasználók, mert azok nem azonos termékprofilt gyártanak.

A következő táblázatban tüntettük fel, ha a homogén szőlőjáratokhoz képest inhomogén szőlőjáratokat, illetve elosztójáratokat alkalmazunk, hogyan alakulnak a relációnkénti szállítási költségek.

Üzemenkénti szállítási költségek inhomogén szőlő- és elosztójáratoknál ( $k_0$ ) 8. táblázat

Vevők	inhomogén szőlőjáratok szállítási kgt.				elosztó-körjáratok szállítási költsége			
	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes	1. üzem	2. üzem	3. üzem	összes
1.	2935	2000	3750	8685	3072,2	953,8	2076,7	6102,7
2.	-	1717,5	10125	11842,5	-	1717,5	8850,3	10567,8
3.	15525	5150	20825	41500	13176,1	2473,75	20170,2	35820,05
4.	1515	4412,5	3675	9602,5	632,8	4128,7	1998,3	6759,8
5.	17125	6000	21343,8	44468,8	14238,3	6000	16784,5	37022,8
6.	5527,5	3090	600	9217,5	2128,1	2473,75	600	5201,85
Össz.	42627,5	22370	60318,8	125316,3	33247,5	17747,5	50480	101475

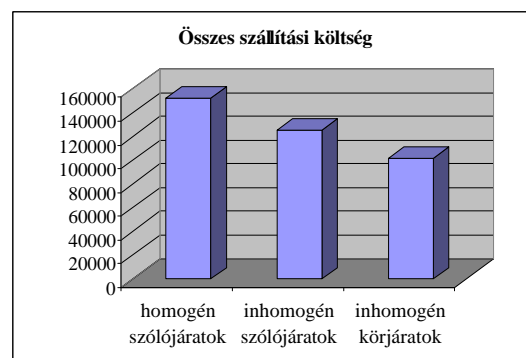
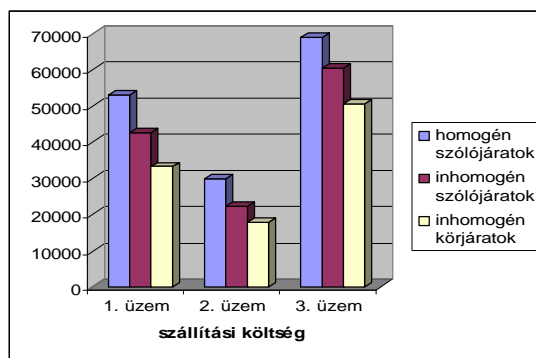
1. üzem 2 db elosztójárat:  $1\ddot{U}-1F-4F-1\ddot{U}$  és  $1\ddot{U}-3F-6F-5F-1\ddot{U} = 1305 k_0 + 6742,5 k_0 = 8047,5 k_0$ ;  
 2. üzem 3 db járat:  $2\ddot{U}-2F-2\ddot{U}$ ,  $2\ddot{U}-4F-1F-2\ddot{U}$  és  $2\ddot{U}-6F-3F-2\ddot{U} = 1717,5k_0 + 2082,5k_0 + 4947,5k_0 = 8747,5k_0$ ;  
 3. üzem 2 db elosztójárat:  $3\ddot{U}-1F-4F-3\ddot{U}$  és  $3\ddot{U}-3F-5F-2F-3\ddot{U} = 4075 k_0 + 5605 k_0 = 9680 k_0$ .

Az eredményekből megállapítható, hogy egyik üzem esetében sem lehetett egy járatral elszállítani a fennmaradó egységakomány mennyiséget, hanem több elosztójáratra volt szükség. Minden egyes elosztójárat esetén a járatban szereplő felhasználókra eső szállítási költségeket (8. táblázat) a következőképpen határoztuk meg:

- az állandó költség a felhasználók között egyenletesen kerül elosztásra;
- a változó költség relációnként változik a szállított mennyiséggel arányosan.

Mivel a hozzárendelést továbbra sem módosítottuk, így könnyen belátható, hogy a szerelési költségek sem térnek el az inhomogén szőlőjáratok, illetve körjáratok esetében a homogén szőlőjáratok szerelési költségeitől. Az inhomogén szőlőjáratok szállítási költségeinek elemzése során az 1. felhasználó (az inhomogenitás miatt, nehézkes lenne termékekre elvégezni a vizsgálódást) esetében találhatjuk meg a legkisebb értéket ( $8685 k_0$ ), melyet szorosan követ a 6. felhasználó, míg a legnagyobb szállítási költséget az 5. felhasználónál realizálhatjuk ( $44468 k_0$ ). Elosztó körjáratok esetén ugyanezen legkisebb, legnagyobb szállítási költség a 6. és szintén az 5. felhasználónál tapasztalható, az azonosság nyilván abból adódik, hogy a kevésszámú törtrakomány körjáratba szervezésével, már csak igen csekély csökkenés érhető el az összes szállítási költség tekintetében a nagyszámú egészjáratok költségei következtében.

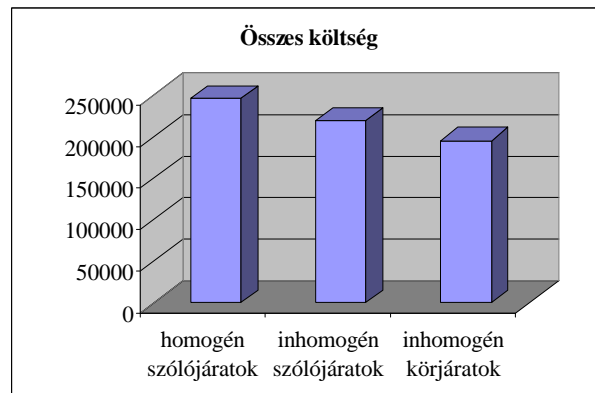
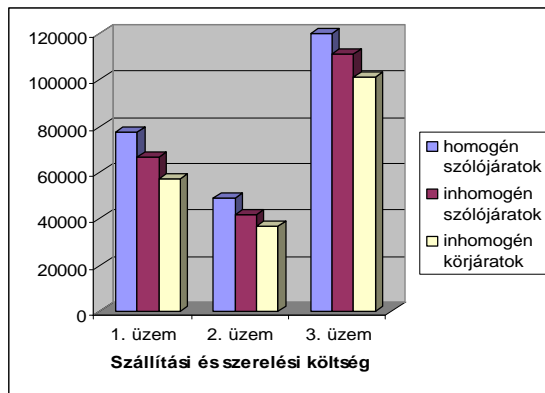
A teljes szállítási költség az összes elosztójáratnál ( $8047,5 k_0 + 8747,5 k_0 + 9680 k_0$ ) =  $26475 k_0$ . Csak az elosztójáratokból kimaradó felhasználók esetében (ciklámen cellák) nem lehetett tovább csökkenteni a szállítási költségeket az inhomogén szőlőjáratokhoz képest. Egy esetben pedig, az első felhasználó első szerelőüzem relációnál (piros cella) a szállítási költség csekély mértékben ugyan, de növekedett az inhomogén szőlőjárat költségeihez képest, amit a nagyobb mennyiségű (22 db) ER-szám hosszabb távú elosztójáratban történő szállítása okozott. Az inhomogén szőlőjáratok alkalmazásával a szállítási költség esetében  $125316,25/151956,25 = 17,53 \%$  javulás érhető el a homogén szőlőjáratokhoz képest, míg az inhomogén elosztójáratok tervezése már  $101475/151956,25 = 33,22 \%$ -ot javított a homogén szőlőjáratok szállítási költségein, és  $101475/125316,25 = 19,02 \%$  javulás figyelhető meg az inhomogén szőlőjáratok szállítási költségeihez képest. Az üzemek szintjén vizsgálva a csökkenés mértékét az tapasztalható, hogy az 1. és 2. üzem esetében figyelhető meg a legnagyobb szállítási költségcsökkenés:  $33247,5/53187,5 = 37,49 \%$ , illetve  $17747,5/29810 = 40,46 \%$ , míg a legkisebb javulás a 3. üzem esetében tapasztalható:  $50480/68958,75 = 26,8 \%$ .



6. ábra. Üzemenkénti és összes szállítási költségmegoszlás mindhárom változat esetében

Az inhomogén szőlőjáratok alkalmazásával a teljes költség esetében  $219741,25/246381,25 = 10,81 \%$  javulás érhető el a homogén szőlőjáratokhoz képest, míg az inhomogén elosztójáratok tervezése már  $195900/246381,25 = 20,49 \%$ -ot javított a homogén szőlőjáratok költségein, valamint  $195900/219741,25 = 10,85 \%$  javulás figyelhető meg az inhomogén szőlőjáratok összköltségeihez képest. Ami nem meglepő, ugyanis a szerelési költségek mindhárom esetben ugyanannyiak voltak. Az üzemek szintjén vizsgálva a csökkenés mértékét ugyanaz tapasztalható, mint előbb, azaz az 1. és 2. üzem esetében figyelhető meg a legnagyobb összköltségcsökkenés:  $57447,5/77387,5 = 29,64 \%$ , illetve  $37097,5/49160 = 24,54 \%$ , míg a legkisebb javulás most is a 3. üzem esetében tapasztalható:  $101355/119833,75 = 15,42 \%$ .





7. ábra: Üzemenkénti és összes költségmegoszlás mindhárom változat esetén

További vizsgálat tárgyát képezheti, hogy a most adottnak feltételezett eredeti  $Y$  hozzárendelési mátrix módosításával milyen további költségcsökkenés érhető el, illetve milyen változásokat idéz elő, ha csak 0 és 1 értékeket vehet fel az  $Y$  mátrix ( $a$  eset), valamint ha egy (vagy több) elosztóraktárt is számításba veszünk. Hovatovább érdemes lenne megvizsgálni más • típusú járműnél, illetve  $e_k$  egységrakománynál a hozzárendelés, valamint a költségfüggvény értékeit, változásokat.

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CSELÉNYI József: Mathematisches Modell und Algorithmus des Montageprozesses für ein elektronisches Produkt. Magdeburger Schifften zur Logistik, Magdeburg, 2002. 35–44. o.
- [2] CSELÉNYI József• ILLÉS Béla: Anyagáramlási rendszerek tervezése és irányítása I. Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2006.
- [3] CSELÉNYI József• NAGY Mónika: Optimization of distribution-collection routes consist of round routes. Proceedings of microCAD 2006, Miskolc, 2006.
- [4] CSELÉNYI József• TÓTH Tibor: Interrelations between Logistics and Production Control. Proceeding of MANSA'94 9<sup>th</sup> National Conference of the South African Institute of Industrial Engineers, Cape Town, 1994. 365–370. o.
- [5] CSELÉNYI József• TÓTH Tibor: Mathematical model for optimisation of a product assembly system integrated by logistics and operating in a network like way. Proceedings of WESIC 2001, Twente, Drebbe Institute for Mechatronics, 2001. 81–92. o.
- [6] EVANS J. R.: Applied Production and Operations Management. West Publishing Company, Cincinnati, 1993.
- [7] JÜNEMANN R.: Planung- und Betriebsführung-Systeme für die Logistik. Verlag TÜV Rheinland, Dortmund, 1990.
- [8] KOVÁCS GY. • CSELÉNYI J. • KOVÁCS L. • BÁLINT R.: Conversion possibilities of storage zones of distribution warehouses in case of changing structure and volume of commissioned products. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Conference MTeM, Cluj-Napoca, 2005. 322–329. o.
- [9] OLÁH B. • BÁNYAI T. • CSELÉNYI J.: Logistical tasks of co-operative assembly plants. Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on AED, Prague, 2003. 110. o.
- [10] OLÁH B. • BÁNYAI T. • CSELÉNYI J.: Algorithm of optimal assignment of assembly plants and end users within the framework of products in cooperative assembly system. Proceedings of Miskolczer Gespräche, Miskolc, University Press, 2003. 145–150. o.
- [11] OLÁH B. • BÁNYAI T. • CSELÉNYI J.: Sensitivity analysis of optimal assignment of assembly plants and end users within the framework of products in a cooperative assembly system. Proceedings of microCAD 2004, Miskolc, University Press, 2004. 97–102. o.
- [12] OLÁH B. • BÁNYAI T. • CSELÉNYI J.: Optimal assignment of assembly plants to the final product requirements of the end users in a cooperative assembly system. Proceedings of the 15<sup>th</sup> International DAAAM Symposium, Vienna, 2004. 321–322. o.
- [13] SCHÖNENBURG E. • HEINZMANN F. • FEDDERSEN S.: Genetische Algorithmen und Evolutionsstrategien (Eine Einführung in Theorie und Praxis der simulierten Evolution). Berlin, Addison-Wesley. 1994.
- [14] SCHÖNSLEBEN P. Integrates Logistik Management. (Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen), Heidelberg, Springer Verlag. 1998.
- [15] SMILOWITZ K. R. • DAGANZO C. F.: Cost modeling and design techniques for integrated package distribution systems. Industrial engineering and management science working paper, Northwestern, University Press, 2004. 04–006. o.
- [16] TÓTH, T.: Design and Planning Principles, Models and Methods in Computer Integrated Manufacturing, University Press, Miskolc, 1998.
- [17] WINSTON L. W.: Operation Research: Applications and Algorithms. Budapest, Aula Kiadó. 2003.



## FURATMEGMUNKÁLÁS MINIMÁLKENÉSSEL

### BEVEZETÉS

A Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszéke 1994-től kezdődően kutatásokat végzett az Európai Közöség által finanszírozott „Umweltgerechte Zerspanungstechnik – Reduzierung und Ersatz von Fertigungshilfstoffen beim Bohren” c. projekt keretében (Program: STD-2EC, ERB CIPACT 930167). A projekt során hűtő- kenő anyag nélküli, illetve minimális hűtő-kenő anyag felhasználása mellett furatmegmunkálási kísérletek végrehajtása történt, melyeknél a kísérletsorozatok számát különböző változatok kialakításával növelték. A kísérletek során változtatták a munkadarab anyagminőségét, a hűtő-kenő anyag mennyiségét és fúróhoz való hozzávetetésének módját (külső- és belső hűtés), valamint a technológiai paramétereket és mérték a felsorolt változók fúróerő- és nyomatékra, szerszámkopásra, valamint a megmunkált furatok makro- és mikrogeometriai jellemzőire gyakorolt hatását [1, 2, 3].

A kutatási téma továbbra is időszerű, hiszen számos érv szól a hűtő- kenő folyadék csökkentése, a minimálkenés megvalósítása mellett, mivel a hűtő-kenő folyadék:

- regenerálása, tárolása, megsemmisítése költséges;
- jelentős környezetterhelést okoz;
- bizonyítottan egészségkárosító hatása van (bőrbetegségek, allergia, légutak megbetegedése, stb.);
- ára folyamatosan emelkedik.

Ennek köszönhető, hogy egyre szélesebb körben terjed a környezetbarát olajok használata, a minimálkenés, illetve a szárazmegmunkálás alkalmazása [4, 5, 6].

A Nyíregyházi Főiskola Műszaki Alapozó és Gépgyártástechnológia Tanszéke 2006-ban a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszékével közös kutatási projektet indított öntvény külső minimálkenéssel (ME-en eddig a belső minimálkenést vizsgálták) történő furatmegmunkálásának vizsgálatára.

### 1. A furatmegmunkálási kísérletek célja

A projekt célja **külső minimálkenés** mellett végzett fúrási kísérletek eredményei alapján következtetések levonása. A kísérletek során összehasonlító mérések végrehajtása történt különböző mennyiségű külső hűtő-kenő folyadék hozzávetetéssel végzett fúrási kísérletsorozatokon, ahol mértük:

- az axiális fúróerőt ( $F_f$ ) és csavaró nyomatékot ( $M_c$ ),
- a fúrószerszám kopását (sarokkopást,  $VB_E$  és hátkopást  $VB_{3,5}$ ),
- az elkészített furatok felületi érdességét ( $R_a$ ).

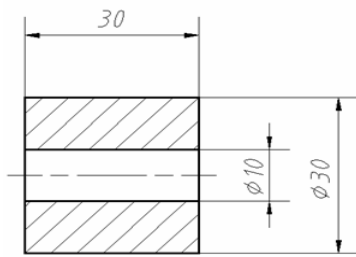
A mérési eredményeket összehasonlítjuk a ME belső minimálkenéssel végzett kísérleteinek eredményeivel.

### 2. A kísérletek körülményei

A következőkben röviden bemutatjuk a fúrási kísérletekhez használt próbatesteket, szerszámot, szerszámgépet és mérőberendezéseket, valamint a technológiai paramétereket.

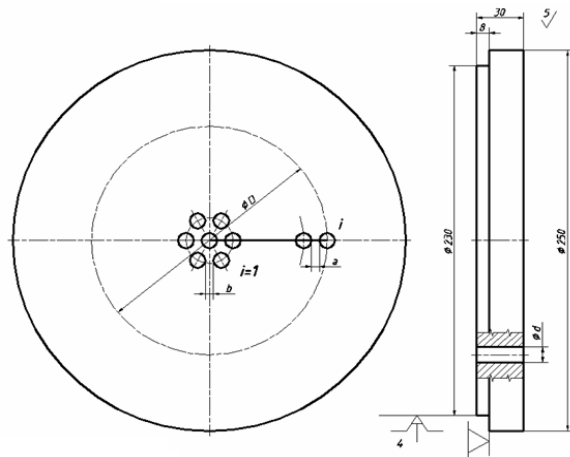
#### 2.1 Próbatestek

A fúróerő és nyomaték méréséhez használt öntvény pogácsát az 1. ábrán, a sorozatkísérleteknél alkalmazott tárcsát a 2. ábrán ábrázoltuk (befogási jelöléssel).



1. ábra

A meghatározott fúrt furathosszak után alkalmazott próbatest (1) kialakítása és méretei



2. ábra

A fúrási folyamathoz alkalmazott próbatest (2) kialakítása és méretei

A próbatest anyaga: szürkeöntvény, EN-GJL-200 (MSZ EN 1561)

Mechanikai tulajdonságok a szabvány előírása szerint:

$$R_m = 200 \dots 300 \text{ N/mm}^2$$

$$HB = 195 \dots 275$$

## 2.2 Forgácsoló szerszám

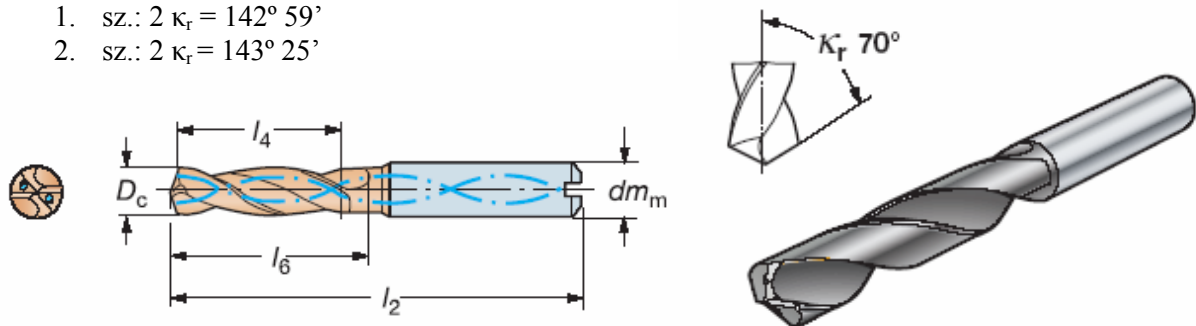
A fúrási kísérleteket a GÜHRING cég által gyártott, jobbos emelkedésű, hengeres szárú, belső hűtő-kenő csatornával rendelkező, 10,2 mm-es átmérőjű, bevonatolt monolit keményfém csigafúróval (3. ábra) végeztük, melynek szabványos jelölése:

Ø 10,2 K20 Gühring WRDG DIN 6537

Bevonat: TiAlN

Az alkalmazott szerszámok szerszám főél elhelyezési szögei:

1. sz.:  $2 \kappa_r = 142^\circ 59'$
2. sz.:  $2 \kappa_r = 143^\circ 25'$



3. ábra

Belső hűtő-kenő csatornával rendelkező TiAlN bevonatú HM fúró (GÜHRING) vázlata és nézeti képe

## 2.3 Szerszám gép és készülékelemek

A fúrási kísérleteket a magyar gyártmányú MU-250 típusú egyetemes marógépen végeztük (4. ábra), melynek főbb jellemzői:

- főorsó motorteljesítmény: 4,25 kW
- max. mozgások: 700 x 300 x 400 mm
- maróorsó max. fordulatszáma: 2250 1/perc
- előtolás (x, y, z irányban): 20 – 800 mm/perc
- maróorsó belső kúp: Morse 4
- megmunkálási pontosság: 0,05 mm

A kísérletsorozathoz alkalmazott készülékelemek:

- Ø 10 mm-es szorítópatron MSZ 3834-1991
- Ø 100 mm-es hárompofás tokmány (kis próbatest (1)-hez)
- Ø 260 mm-es négypofás tokmány (próbatest (2)-höz)



4. ábra  
Szerszámgép és a fúrási kísérlet elrendezése

## 2.4 Külső minimálkenést biztosító NOGA-készülék

A fúró külső minimálkenéséhez egy izraeli cég által gyártott „NOGA MINI COOL” típusú ködkenést biztosító berendezést használtunk, amely a hűtő-kenő anyagot a fúró külső palástjára a kívánt mennyiségben sűrített levegő segítségével porlasztja (5. ábra).

Beállítható térfogatáram:  $10 \text{ cm}^3/\text{h} - 250 \text{ cm}^3/\text{h}$ , fokozatmentes állítási lehetőséggel.



5. ábra  
„NOGA MINI COOL” típusú készülék

## 2.5. Mérőberendezések

A fúrási kísérletekhez alkalmazott mérőberendezéseket és készülékeket, valamint fontosabb jellemzőket a következőkben ismertetjük.

### 2.5.1 Az előtolóerő és fúrónyomaték méréséhez használt készülék

Az axiális fúróerő ( $F_f$ ) és csavaró nyomaték ( $M_c$ ) mérése egy kétkomponensű kompakt dinamométerrel történt, amely nagy dinamikai szilárdsággal rendelkezik, így magas a sajátfrekvenciája, amely lehetővé teszi a kisebb dinamikus erőhatások mérését magas alapterheléseknél is.

Technikai adatok:

Megnevezés: KISTLER, 2 komponensű dinamométer

Típus: 9271 A

Mérési tartomány:  $F_f$  [kN]:  $-5 \div 20$

$M_c$  [Nm]:  $-100 \div +100$

Érzékenység:  $F_f$  [pC/N]: -2,02

$M_c$  [pC/N]: -1,6

Linearitás: %FSO: L 0,3

Üzemi hőmérséklet tartomány, °C: 1-70



6. ábra

Kistler 2 komponensű dinamométer

A dinamométer által szolgáltatott jel erősítéséhez Kistler 5038 A2 típusú ipari töltéserősítőt használtunk, a mérési adatok feldolgozását Labview 8.0 szoftver segítségével végeztük.

### 2.5.2 Mérőkészülék a szerszámkopás méréséhez

A sarokkopás ( $VB_E$ ) és hátkopás ( $VB_{3,5}$ ) méréséhez a fűrőt függőleges helyzetben mérőmikroszkópon lefényképeztük, majd a kopásértékeket a digitális foto számítógépes program segítségével történő feldolgozásával határoztuk meg. A fűró mindig azonos helyzetét a mérőmikroszkópon befogó készülékkel biztosítottuk (7. ábra).

mikroszkóp adatai:

Típus: Olympus SZ61 sztereo mikroszkóp

Nagyítás:  $0,67 \times -4,5 \times$

Nagyítási arány:  $6,7 : 1$

Geometriai mérési tartomány

Magassági irányban:  $0 - 110$  mm

Keresztirányban:  $0 - 50$  mm



7. ábra

A fűró digitális fotózása mérőmikroszkópon

### 2.5.3 Mérőkészülék a felületi érdesség méréséhez

Az elkészített furatok átlagos felületi érdességének ( $R_a$ ) meghatározásához SJ-201 (Mitutoyo) típusú készüléket használtunk. A felületi érdesség értékek mérése az (1) jelű próbatesten furatonként 5 kontúrvonal mentén történt.

A mérés adatai:

Mérési hosszúság:  $l_n = 12,5 \text{ mm}$

Alaphossz:  $l = 2,5 \text{ mm}$

### 2.6 A minimálkenés megvalósítása, hűtő-kenő folyadék típusa, mennyisége

A minimálkenés megvalósítása külső hűtéssel, a hűtő-kenő folyadéknak a fúró külső palástjára való hozzávezetésével történt, „NOGA MINI COOL” típusú porlasztó berendezéssel (5. ábra).

A forgácsolási kísérletekhez „OMV cut XU” típusú, klórmentes olajat használtunk hűtő-kenő folyadékként, amely különleges adalékokkal ellátott minőségi hűtő-kenő anyag.

Fontosabb jellemzői:

- Kinematikai viszkozitás 40 °C-on:  $22 \text{ mm}^2/\text{s}$
- Lobbanáspont:  $170 \text{ °C}$
- Folyáspont:  $< -12 \text{ °C}$
- Sűrűség 15 °C-on:  $0,882 \text{ g/ml}$

A kísérletek során alkalmazott hűtő-kenő folyadék mennyisége:

- $Q_1 = 10 \text{ cm}^3/\text{h}$  (sűrített levegő nyomása: 0,6 MPa)
- $Q_2 = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$  (sűrített levegő nyomása: 0,6 MPa)

### 2.7 A fúrási kísérlet technológiai paraméterei

A fúrási kísérletek végrehajtása az alábbi paraméterek beállításával történt:

Maróorsó fordulatszám:  $n = 2250 \text{ ford/perc}$   
Előtolás:  $f = 0,18 \text{ mm/ford}$   
Forgácsolási sebesség:  $v_c = 72,06 \text{ m/perc}$   
HKF mennyiség:  $Q = 10 \text{ és } 28 \text{ cm}^3/\text{p}$   
Előtolás sebessége:  $v_f = 405 \text{ mm/perc}$   
Gépi főidő:  $t = 0,074 \text{ perc}$



8. ábra

A fúrási kísérlet végrehajtása

## 3. Mérési eredmények, feldolgozásuk és értékelésük

A fúrási kísérletek végrehajtása során minden mérést azonos paraméterek beállítása mellett legalább háromszor megismételtünk. A mérési eredményeket a matematikai statisztikai módszerek felhasználásával dolgoztuk fel (meghatároztuk a mért értékek átlagát, szórását, a relatív szórást). A mért átlagértékeket a fúrási út függvényében ábrázoltuk majd regresszióanalízissel meghatároztuk a mérési pontokra legjobban illeszkedő közelítő görbe egyenletét, valamint a korrelációs indexet.



A külső hűtés mellett mért eredményeket minden esetben összehasonlítjuk a Miskolci Egyetemen mért belső hűtés során regisztrált eredményekkel (a fúrási kísérletek minden más paramétere azonos volt, így az eredmények összevethetők).

### 3.1 Az előtolóerő ( $F_f$ ) és fúrási nyomaték ( $M_c$ ) mérés eredményei

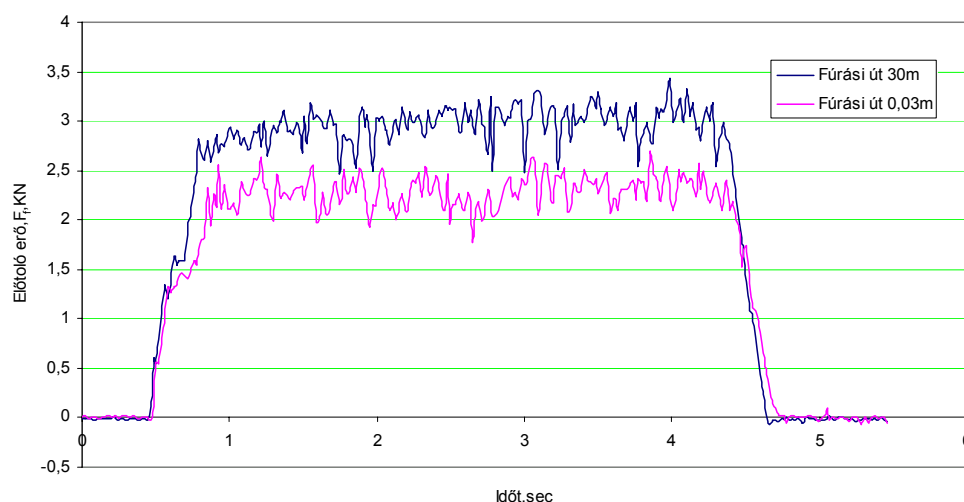
A mérési eredményeket az 1. sz. táblázatban foglaltuk össze:

A mért előtolóerő ( $F_f$  átlagérték) és fúrási nyomaték ( $M_c$  átlagérték) eredmények 1. táblázat

Fúrási út [m]	Kenőanyag [cm <sup>3</sup> /h]	$F_{fmax}$ [kN]	$F_f$ [kN]	$M_{cmax}$ [Nm]	$M_c$ [Nm]
0,03	28	2,687	2,228	11,067	7,204
5		3,207	2,731	13,491	7,712
10		3,252	2,531	13,617	8,051
15		3,160	2,538	12,222	7,995
20		3,490	3,088	13,680	9,113
25		3,371	2,976	13,428	9,960
30		3,513	3,039	14,174	10,207
0,03	10	3,209	2,739	12,790	8,730
5		3,714	3,274	14,562	10,397
10		4,289	3,618	22,416	15,149
15		4,072	3,519	23,262	16,370

A fúrási úthossz: átmenő furatok esetén a csigafúróval kifúrt furatok számának és a fúrandó próbatest vastagságának szorzata ( $s = Z_f L_p$ ).

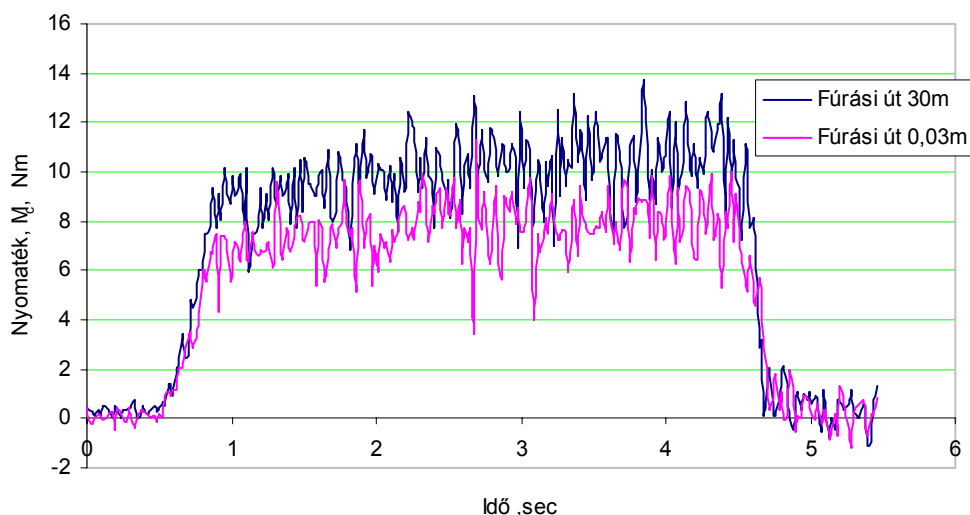
A 9. ábrán az előtolóerő, a 10. ábrán a fúrási nyomaték fúrási folyamat során történő változását mutatjuk be külső hűtésnél.



9. ábra

Az előtolóerő ( $F_f$ ) változása a fúrási folyamat során (külső hűtés)  $Q_2 = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$



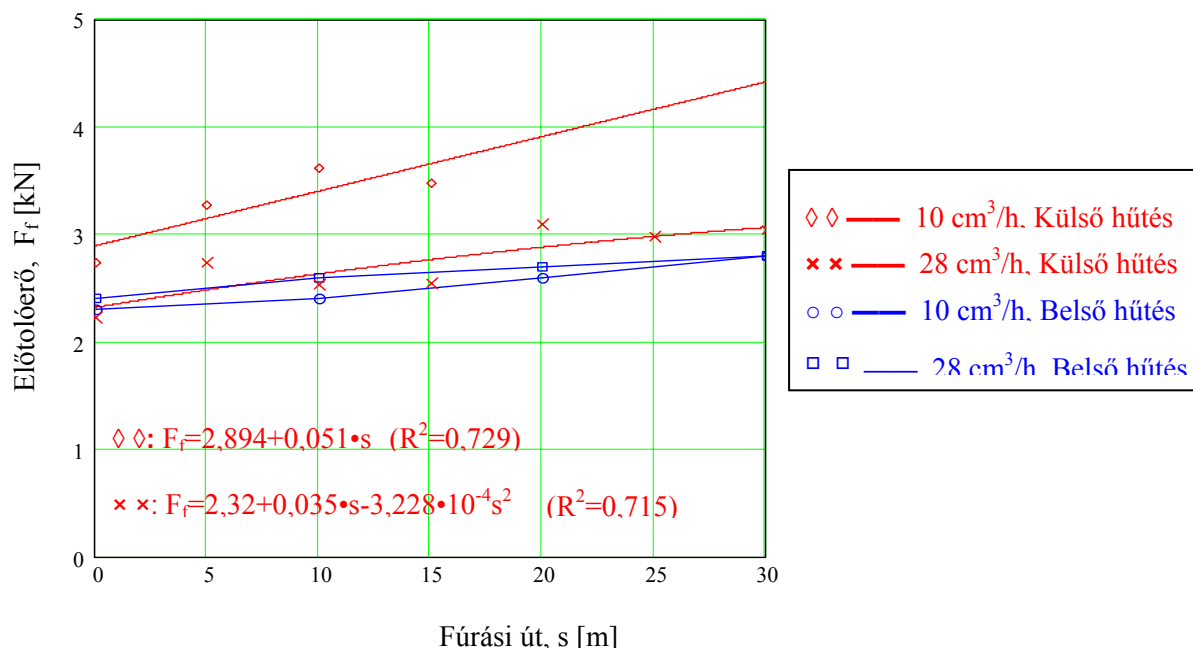


10. ábra

A fúrési nyomaték ( $M_c$ ) változása a fúrési folyamat során (külső hűtés)  $Q_2 = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$

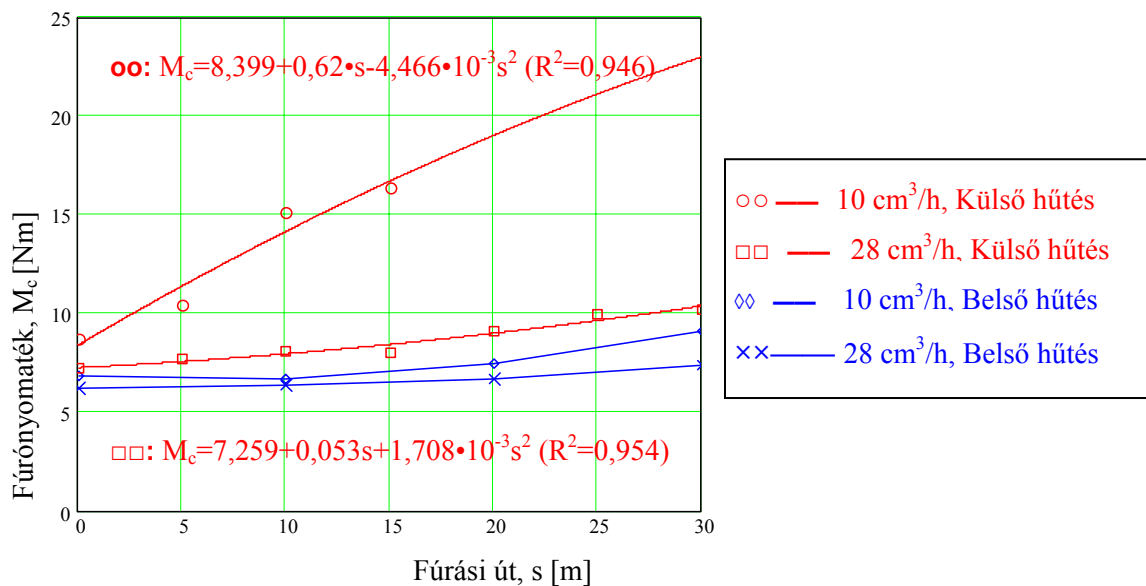
Megállapítható, hogy  $F_f$  és  $M_c$  ingadozása jelentős a fúrás folyamata alatt, valamint  $F_f$  és  $M_c$  értékei számottevően nőnek a forgácsolási úthossz növekedésével.

A 11. ábrán az előtolóerő ( $M_c$ ), a 12. ábrán a fúrési nyomaték ( $M_c$ ) fúrési út függvényében történő változását ábrázoltuk külső és belső hűtés [1] mellett ( $10 \text{ cm}^3/\text{h}$  külső hűtésnél 15 m fúrési út megtétele után a szerszám kicsorbult, így ebben a beállításban a kísérleteket nem folytathattuk tovább).



11. ábra

Az előtolóerő ( $F_f$ ) változása a fúrési út függvényében (külső és belső hűtés)



12. ábra  
A fúrónyomaték ( $M_c$ ) változása a fúrási út függvényében (külső és belső hűtés)

A 11. és 12. ábráról leolvasható, hogy *külső hűtésnél*  $F_f$  és  $M_c$  értékei jelentősen nőnek a fúrási úthossz növekedésével. A hűtő-kenő folyadék mennyiségének  $10 \text{ cm}^3/\text{h}$ -ról  $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ -ra történő növelésével  $F_f$  értékei kb. 20-40 %-kal,  $M_c$  értékei kb. 20-100 %-kal csökkennek. A csökkenés mértéke a fúrási úttal nő.

A *belső és a külső hűtésnek* a fúrás *előtolóerő és fúrónyomaték szükségletére gyakorolt hatásának* összehasonlítása alapján a következő megállapításokat tehetjük a vizsgált 30mm hosszúságú furatok elkészítése esetén:

- Azonos mennyiségű HKF adagolás mellett a furatmegmunkálás előtolóerő és fúrónyomaték szükséglete mindig kisebb belső hűtésnél.
- Amíg a furatmegmunkálás előtolóerő és fúrónyomaték szükségletét tekintve  $10 \text{ cm}^3/\text{h}$  mennyiségű HKF adagolásánál a belső és a külső hűtés közötti különbség igen nagy (50-100 %), addig  $28 \text{ cm}^3/\text{h}$  mennyiségű HKF-nál ez a különbség már kevésbé jelentős (5-10 %).
- Amíg belső hűtésnél  $10 \text{ cm}^3/\text{h}$  mennyiségű HKF elegendő a fúró kenéséhez (a hűtés-kenés egyenletes, folyamatos, a HKF közvetlenül a vágóélekhez jut), addig külső hűtésnél a megfelelő hűtés-kenés eléréséhez a HKF mennyiségének legalább  $28 \text{ cm}^3/\text{h}$ -ra történő növelése szükséges (a fúró hűtése kívülről szakaszos).

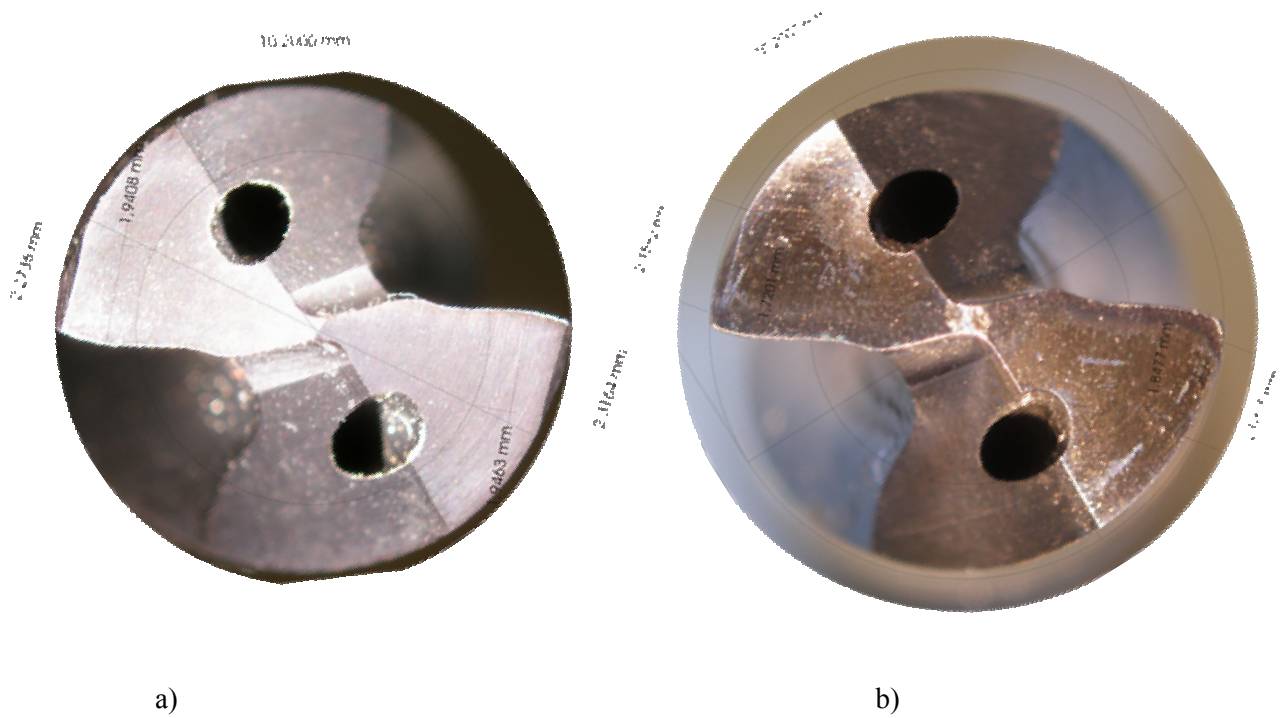
Ezen megállapítások változnak  $L = 50 \text{ mm}$  vagy  $100 \text{ mm}$  vastagságú munkadarabok fúrásánál, mivel  $L \geq 5d$  fúrt furathossz után a külső kenés hatása jelentősen lecsökken.

### 3.2 A szerszámkopás mérésének eredményei

A csigafúró főelei a legnagyobb forgácsoló sebesség helyén, az élszalaggal való találkozási pontokon kopnak erősebben, ezt a kopásformát sarokkopásnak ( $VB_E$ ) nevezzük. Rideg anyagok, pl. öntöttvas fúrásokor, keményfém fúróknál ez a jellemző, emellett azonban hátkopás is tapasztalható. A sarokkopás megengedett értéke HM fúrónál:  $0,9 - 1,2 \text{ mm}$  [7, 8].

A fúró elhasználódásának jellemzésére ezért a sarokkopást ( $VB_E$ ) és a hátkopást ( $VB_{3,5}$ ) választottuk. A hátkopást  $3,5 \text{ mm}$ -es sugáron mértük, a főéltől a hátfelületre nyúló kopási sáv szélességeként.

A szerszámkopást  $5 \text{ méterenként}$  mértük, mindkét főélen, a 2.5.2 pontban leírtak szerint. A kopásértékek meghatározása  $N = 300$ -szoros nagyítású digitális fotón történt Corel számítógépes program segítségével. A szerszámot eredeti és kopott állapotban a felvett referencia vonalakkal a 13. ábra, a mért és bejelölt kopásértékeket a 14. ábra mutatja be.

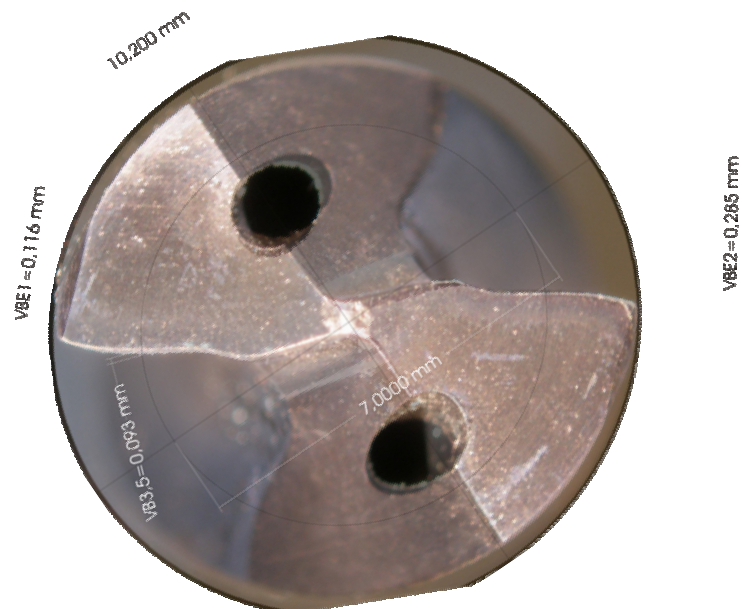


13. ábra

Csigafűró a referenciavonalakkal a szerszámkopás méréséhez

a) eredeti állapot,  $s = 0$  m;

b)  $s = 25$  m fűrási út után ( $Q = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$ )

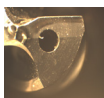


14. ábra

Szerszámkopás mért értékei:

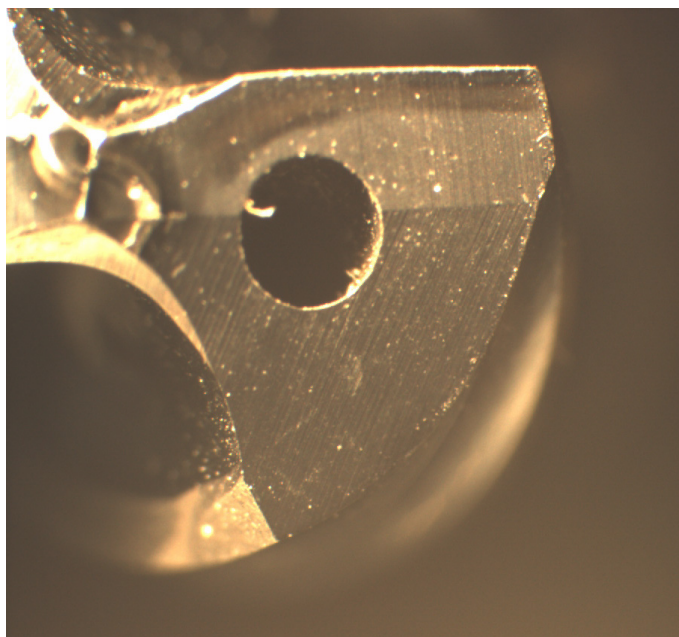
$VB_{E1}$ ;  $VB_{E2}$ ;  $VB_{3,5}^1$ ;  $VB_{3,5}^2$ ; ( $s = 25$  m;  $Q = 28 \text{ cm}^3/\text{h}$ )

A mérés során a főelek vízszintes helyzetűek és a hátkopás helye be van jelölve. A sáv szélessége optikai úton – mikroszkópon vagy CCD kamerák segítségével volt mérhető [3].



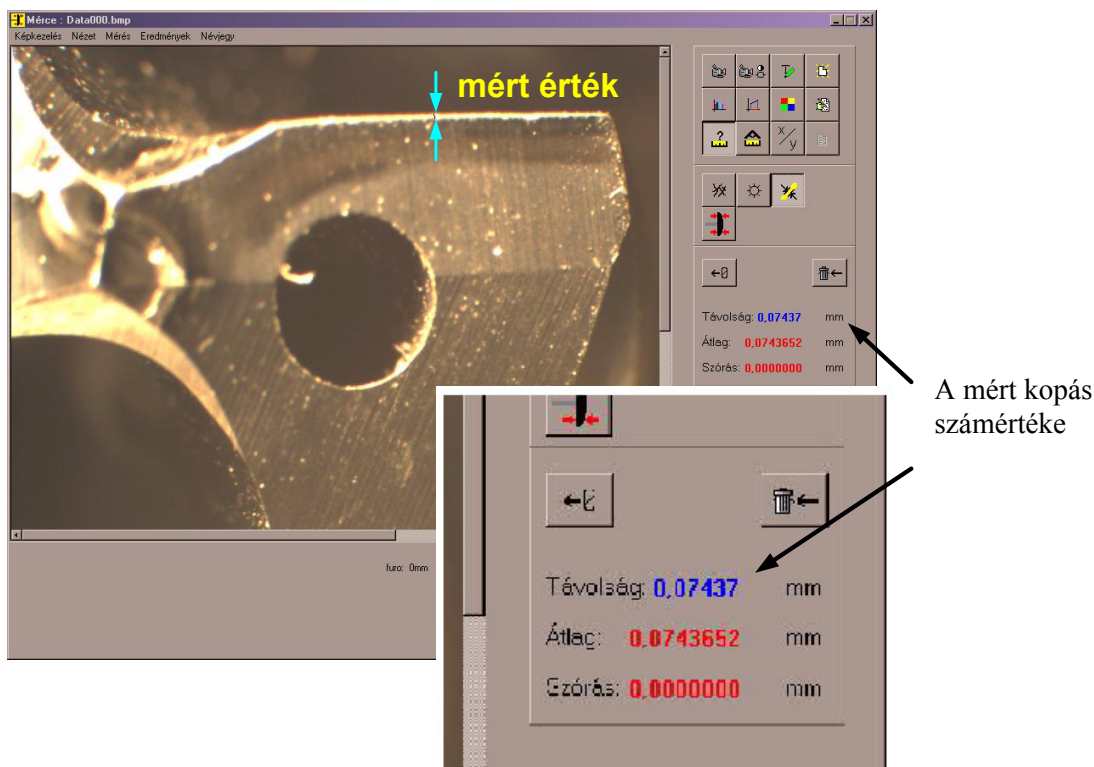
Fúrószerszám hátkopásának a mérése CCD kamerával [3]

A 16. ábrán egy CCD kamerás módszerrel felvett fúró képe látható.



Csigafúró CCD kamerával készített hátkopásának felvétele [8]

A 17. ábrán a csigafúró kopásmérésének a képernyőképe látható.



17. ábra  
Csigafúrók hátkopásának mérése

A mért kopásértékeket a 2. táblázatban tüntettük fel.

Szerszámkopás mérésének eredményei

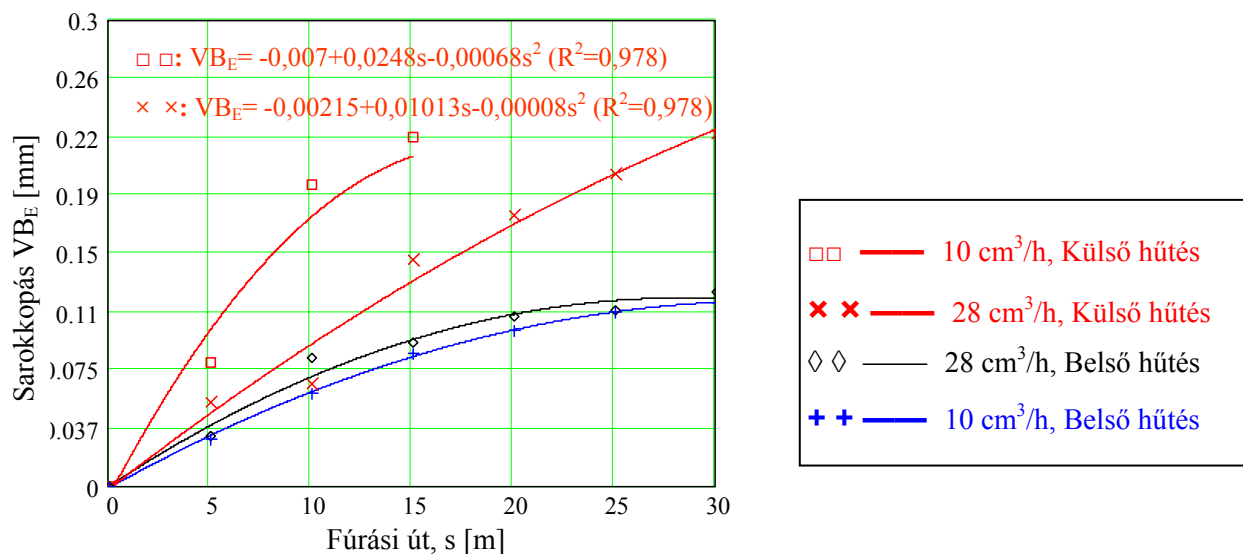
2. táblázat

Fúrasi út [m]	Kenő-anyag [cm <sup>3</sup> /h]	Sarokkopás, VB <sub>E</sub>			Hátkopás, VB <sub>3,5</sub>		
		1. főél VB <sub>E1</sub>	2. főél VB <sub>E2</sub>	Átlagérték VB <sub>EM</sub>	1. főél VB <sub>3,5(1)</sub>	2. főél VB <sub>3,5(2)</sub>	Átlagérték VB <sub>3,5M</sub>
0	28	0	0	0	0	0	0
5		0,0598	0,0479	0,054	0,0042	0,0151	0,01
10		0,0649	0,0665	0,066	0,0261	0,0268	0,029
15		0,1126	0,178	0,145	0,0329	0,0991	0,066
20		0,1134	0,2343	0,174	0,0536	0,1232	0,88
25		0,1154	0,2859	0,201	0,0931	0,2262	0,16
30		0,1313	0,3212	0,226	0,1086	0,2327	0,171
0	10	0	0	0	0	0	0
5		0,0767	0,0819	0,079	0,0522	0,0405	0,0463
10		0,2514	0,1373	0,194	0,1332	0,0605	0,0968
15		0,2812	0,1688	0,225	0,1487	0,0913	0,12

A 18. ábrán a sarokkopás (VB<sub>E</sub>), a 19. ábrán a hátkopás (VB<sub>3,5</sub>) átlagértékeinek fúrási út függvényében történő változását ábrázoltuk külső- és belső hűtés [2] mellett.

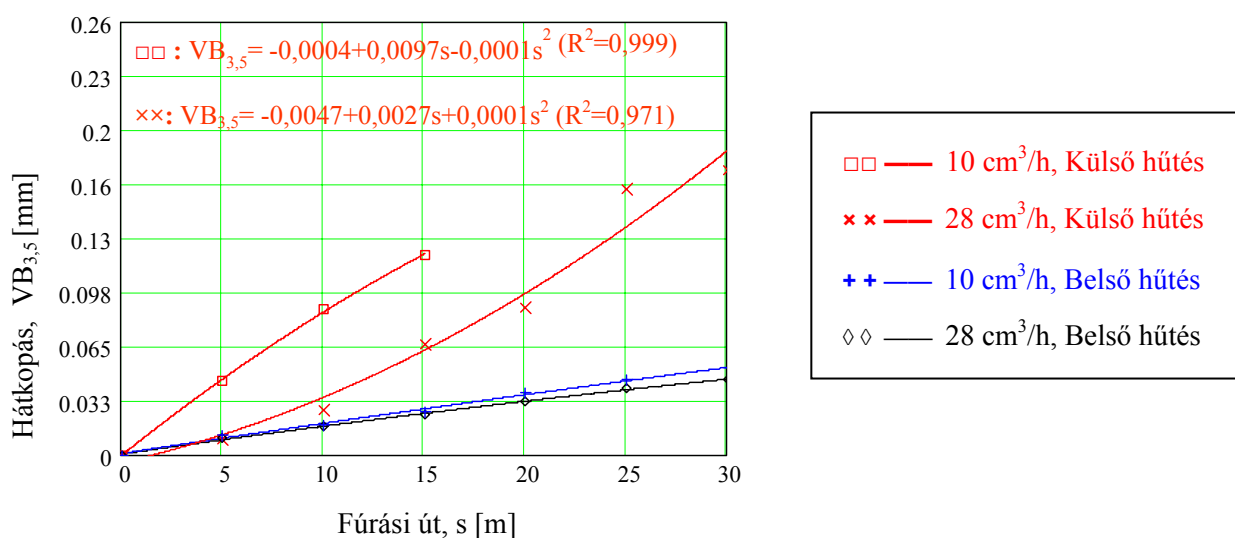
*Külső hűtésnél* a két főélen mért kopásértékek jelentős eltérést mutattak. A 18. és 19. ábrán jól látható, hogy főként a sarokkopás (VB<sub>E</sub>), de a hátkopás mért értékei is erőteljesen növekednek a fúrási úttal. A hűtő-kenő folyadék mennyiségének 10 cm<sup>3</sup>/h-ra történő emelésével a VB<sub>E</sub> értékei kb. 30-50 %-kal, a VB<sub>3,5</sub> értékei kb. 50-70 %-kal csökkennek 15 m fúrási út alatt. A csökkenés mértéke a fúrási úttal nő 15 m fúrási útig.

A mérési eredmények elemzéséből kitűnik, hogy a szerszámkopás mérési eredményei összhangban vannak az előtolóerő és fúrónyomaték mérési eredményeivel: a nagyobb szerszámkopás (10 cm<sup>3</sup>/h külső hűtésnél) jelentős előtolóerő és fúrónyomaték növekedést eredményez.



18. ábra

A sarokkopás ( $VB_E$ ) változása a fúrási út függvényében (külső és belső hűtés)



19. ábra

A hátkopás ( $VB_{3,5}$ ) változása a fúrási út függvényében (külső és belső hűtés)

A belső és külső hűtés szerszámkopásra gyakorolt hatásának összehasonlítása alapján a következő megállapításokat tehetjük:

- Azonos mértékű HKF adagolás mellett a sarokkopás ( $VB_E$ ) és a hátkopás ( $VB_{3,5}$ ) minden esetben kisebb belső hűtésnél (a fúró hűtése itt egyenletes, folyamatos).
- Amíg a belső hűtésnél a HKF mennyiség növelése nem csökkentette jelentősen a szerszámkopást (sőt, 28 cm<sup>3</sup>/h hűtésnél 10 cm<sup>3</sup>/h hűtéshez képest a sarokkopás nőtt), addig külső hűtésnél a HKF mennyiség növelése jelentősen redukálta a szerszámkopást.
- Belső hűtésnél 10 cm<sup>3</sup>/h mennyiségű HKF elegendő a fúró kenéséhez, azonban külső hűtésnél a megfelelő hűtés-kenés biztosításához, a szerszámkopás csökkentéséhez a HKF mennyiség legalább 28 cm<sup>3</sup>/h-ra történő növelése szükséges.



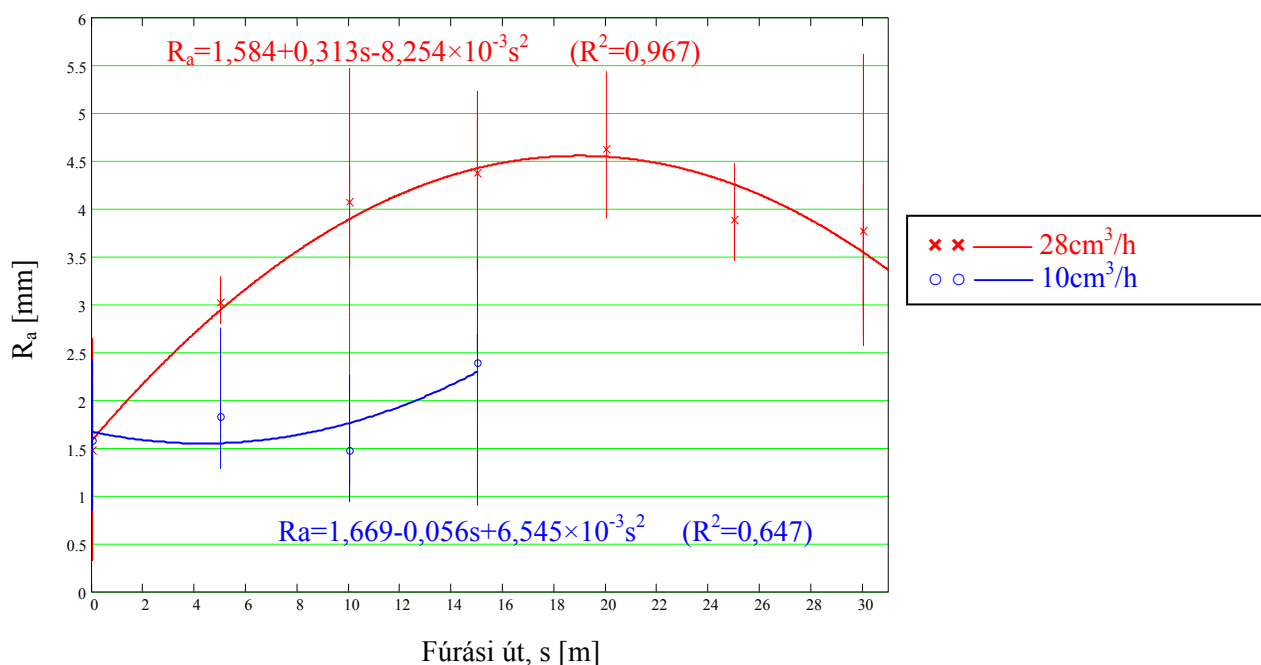
### 3.3 A felületi érdesség mérés eredményei

A mért átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) értékeit a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) mért  
átlagértékei és statisztikai jellemzői 3. táblázat

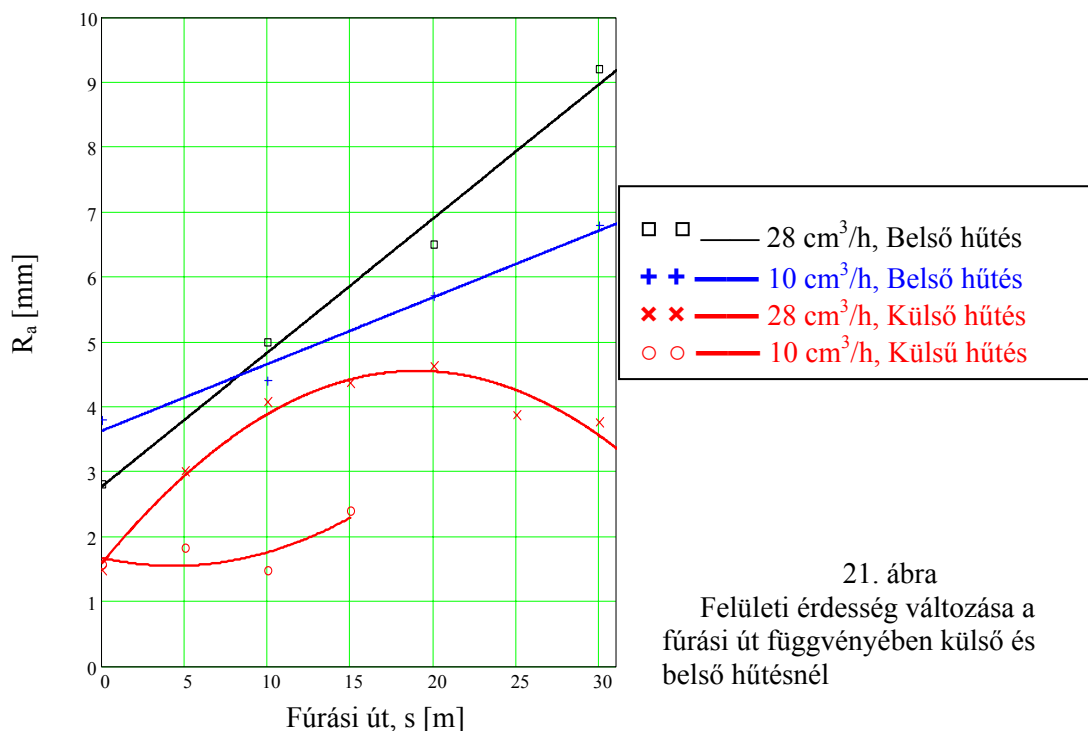
Fúrasi út [m]	Kenőanyag [cm <sup>3</sup> /h]	$R_a$ [ $\mu$ m ]	$s^2$	$s/R_a$
0,03	28	1,471	0,599	0,526
5		3,013	0,042	0,068
10		4,071	0,983	0,244
15		4,365	0,377	0,141
20		4,617	0,395	0,136
25		3,877	0,174	0,107
30		3,767	0,694	0,221
0,03	10	1,575	0,34	0,370
5		1,833	0,434	0,359
10		1,477	0,156	0,267
15		2,39	0,871	0,390

A forgácsolt furatban mért átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) mérési eredményeinek fúrasi út függvényében történő változását a 20. ábrán mutatjuk be, külső hűtés esetén. Az ábráról leolvasható, hogy a mért felületi érdesség értékek szórása jelentős (ezt okozhatja a marógép nem kellő merevsége, illetve járulékos rezgések fellépése a fúrasi folyamat során). A várakozásnak megfelelően a felületi érdesség mért értékei a fúrasi úttal nőttek, azonban meglepetést okozott, hogy a hűtő-kenő folyadék mennyiségének 10 cm<sup>3</sup>/h-ról 28 cm<sup>3</sup>/h-ra történő növelésével rosszabbodó felületi érdességet regisztráltunk.



20. ábra

Az átlagos felületi érdesség ( $R_a$ ) változása a fúrasi út függvényében (külső hűtés)



21. ábra  
Felületi érdesség változása a fúrási út függvényében külső és belső hűtésnél

A belső [1] és külső hűtés (minimálkenés) felületi érdességre gyakorolt hatásának összehasonlításából (21. ábra) kiderül, hogy ugyanolyan mennyiségű hűtő-kenő anyag mennyiség (10-28 cm<sup>3</sup>/h tartományban) mellett külső hűtéssel jobb felületi érdesség érhető el, valamint mind belső, mind külső hűtésnél ugyanolyan tendencia figyelhető meg: a hűtő-kenő folyadék 10 cm<sup>3</sup>/h-ról 28 cm<sup>3</sup>/h-ra történő növelésével a forgácsolt furat felületi érdessége romlik. A jelenség okának tisztázása további, részletesebb vizsgálatot igényel.

## ÖSSZEFOGLALÁS

Kísérleteink során öntvény külső minimálkenéssel történő furatmegmunkálásának vizsgálatát végeztük el, majd eredményeinket összehasonlítottuk a Miskolci Egyetem Gépgyártástechnológia Tanszékén hasonló paraméterekkel végrehajtott, belső minimálkenés mellett végzett fúrasi kísérleteinek eredményeivel. A kísérletek legfontosabb következtetéseit az alábbiakban foglalhatjuk össze:

- A hűtő-kenő anyag mennyiségének jelentős csökkentése mellett, külső minimálkenéssel sikerült megfelelő forgácsolási feltételeket biztosítani szürkeöntvény furatmegmunkálásánál.
- Amíg belső hűtésnél 10 cm<sup>3</sup>/h mennyiségű HKF elegendő a fúró hűtés-kenéséhez, addig külső hűtésnél a HKF mennyiségének legalább 28 cm<sup>3</sup>/h-ra történő növelése szükséges a megfelelő hűtés-kenés biztosításához.
- Belső és külső hűtésnél hasonló tendencia figyelhető meg: a HKF mennyiségének 10 cm<sup>3</sup>/h-ról 28 cm<sup>3</sup>/h-ra történő növelésével az átlagos felületi érdesség romlik. Külső minimálkenéssel sikerült jobb felületi érdességet elérni.

## Köszönetnyilvánítás:

A kutatómunkát a T042843 OTKA projekt támogatta.



## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DUDÁS, I., VARGA Gy., CSERMELY, T., TOLVAJ, I. Umweltgerechte Zerspanungstechnik - Reduzierung und Ersatz von Fertigungshilfsstoffen beim Bohren (STD - 2EC jelű, ERB CIPACT 930167 témaszámú), Európai Közösség által finanszírozott kutatási projekt, Miskolci Egyetem, Gépgyártástechnológiai Tanszék, 4. Jelentés, 1995., pp.: 27
- [2] DUDÁS, I., TOLVAJ, I., VARGA, Gy. and CSERMELY, T.: Measurements applied at the experiments of environmentally clean drilling manufacturing operations, Proceedings of the Fourth International Symposium on Measurement Technology and Intelligent Instruments, Miskolc-Lillafűred, Hungary, September 2-4, 1998, pp.: 487-492
- [3] VARGA, G., DUDÁS, I.: Modelling and Examinations of Environmentally Friendly Machining Processes, Proceedings of the 9th International Research/Expert Conference on Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, TMT 2005, Antalya, Turkey, 26-30 September, 2005. pp.: 121-124. ISBN: 9958-617-28-5
- [4] WEINERT, K.: Trockenbearbeitung und Minimalmengenschmierung. Springer Verlag 2000
- [5] OPLEY, L.: Trockenbearbeitung, Expert Verlag München, Wien, 1988, ISBN 3-8169-1518-5
- [6] KLOCKE, F.; LUNG, D.: Minimalmengenkühlschmierung – Systeme, Werkzeuge und Medien. In VDI-Berichte 1532, pp.: 137–154, VDI-Verlag Düsseldorf, 2000
- [7] DUDÁS I.: Gépgyártástechnológia I., A gépgyártástechnológia alapjai, Műszaki Kiadó, 2004. p.583. ISBN 963 16 4030 2
- [8] DUDÁS, I.: Gépgyártástechnológia III. Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc, 2003. p. 539.



## **BORDÁZOTT TENGELY MEGMUNKÁLÁSÁNAK VIZSGÁLATA VÉGESELEM MÓDSZERREL**

### **ÖSSZEFOGLALÁS**

Elvégeztük a belső bordázott tengely gyártástervezését, melyben vizsgáltuk a gyártás tömegességét és szervezési típusát, az alkatrész funkcionális és technológiai helyességét, elkészítettük a műveleti sorrendtervét és műveleti utasítását. A végeelem analízist egy CAD alapú programmal végeztük, melyben az alkatrész megrajzolása után több fajta vizsgálat történt, melyek kiterjedtek az alkatrész deformációjára és feszültségállapotára több művelet esetében, különböző paraméterek mellett. Egy lapka analízist is végeztünk, melyben a lapkát a fő forgácsoló erővel terhelve szintén elemeztünk. A kidolgozott technológia üzemi alkalmazása megtörtént.

### **BEVEZETÉS**

A termékfejlesztés folyamata a termékkel szemben támasztott követelmények megfogalmazásától a tervezésen, kísérleteken, tesztelésen keresztül egészen az üzemszerű működés során felmerülő hibáknak a termék további módosításával történő kiküszöböléséig terjed. A tervezés során, felhasználva az informatika kínálta lehetőségeket, modellezéssel is vizsgáljuk a szerkezet fizikai tulajdonságait, működését.

A modellalkotás a mérnöki szerkezettel, és annak üzemeltetésével kapcsolatos lényeges és nem lényeges körülmények, fizikai mennyiségek megkülönböztetésével indul. A modellt a természettudományok eszközrendszerével, törvényeivel fogalmazzuk meg matematikai alakban. A fizikai törvények többsége másodrendű differenciálegyenlet, vagy egyenletrendszer.

A mérnöki gyakorlatban felmerülő modellek olyan peremérték feladatok, amelyek peremfeltételei igen bonyolultak részben a szerkezet geometriájából adódóan, részben pedig a kényszerek és terhelések összetett volta miatt. Ez a mechanikai, elektrodinamikai, termodinamikai, hidrodinamikai természetű, vagy összetett problémákra egyaránt érvényes. Az ilyen feladatok általában nem oldhatók meg egzaktul.

Ezért a modellezés során közelítő megoldásokat igyekszünk meghatározni numerikus módszerekkel. A numerikus módszerek népes családjából a végeelem módszer hatékonyan és széles körben elterjedt a mérnöki gyakorlatban. Bár a módszer alap gondolata már ókori forrásokban is felfedezhető, mérnöki tervezéshez a második világháború után alkalmazták egyre szélesebb körben. A szisztematikus matematikai megalapozást követően pedig, a nyolcvanas évektől kezdve egyre kifinomultabb számítógépes alkalmazások teszik egyszerűvé, és szinte mindenki számára elérhetővé a végeelem analízis alkalmazását.

A termék előállításának döntő mozzanata a gyártás, minőségi és gazdasági értelemben egyaránt. A gyártás tervezésekor dőlnek el a termék előállításával kapcsolatos legalapvetőbb kérdések. Ezért fontos, hogy a gyártástervezés során olyan technológia szülessen, amely optimumot talál a gazdaságosság és a megfelelő minőség, néha ellentétesen ható követelményrendszere között (a versenyképes termékfejlesztés filozófiájának értelmében).

Így egyre fontosabbá válik a technológiai folyamatok modellezése is, melynek célja a gyártástechnológia optimalizálása.

Vizsgálataink során belső bordázott tengely gyártástechnológiáját dolgoztuk ki. Modelleztük a legfontosabb műveleteket, különböző paraméterekkel. Számításainkból következtetéseket vontunk le, amelyek alapján igazoltuk, illetve fejlesztettük a technológiát.

# A TECHNOLÓGIAI FOLYAMAT ELŐKÉSZÍTÉSE

## Az alkatrész leírása, és a technológia áttekintése

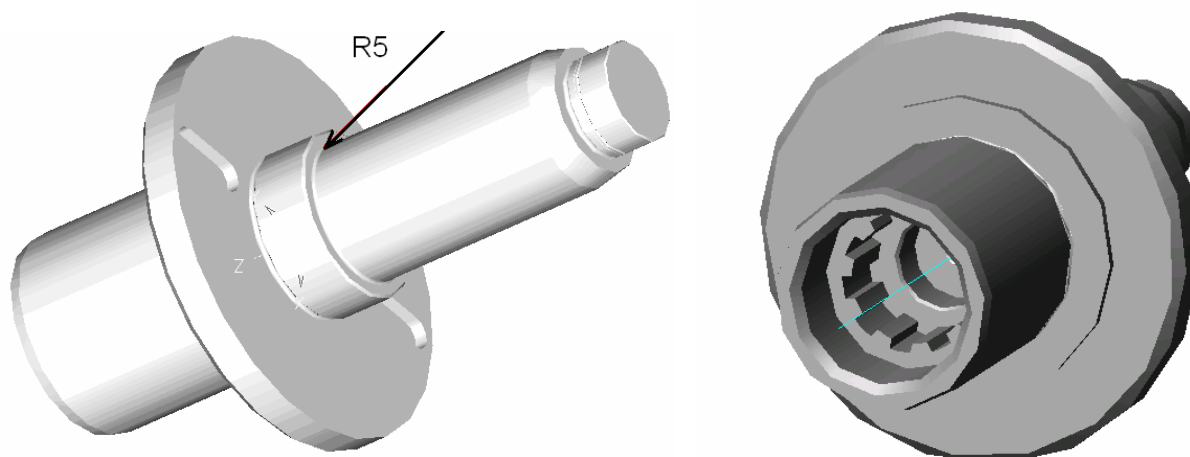
A tanulmányozott alkatrész egy többlépcsős tengely, amely belső bordával rendelkezik (1. ábra).

Munkánk során célul tűztük ki, és megvalósítottuk a gyártás technikai feltételeinek körvonalazását, a gyártás tömegességének meghatározását, az alkatrész geometriai vizsgálatát, a technológiai folyamattervezést, a műveleti sorrendtervezést, mechanikai [5] vizsgálatok elvégzését végeselem módszerrel egyes műveletekre, szerszámok pontos specifikálását és NC program generálását a GTIPROG szoftver segítségével.

Jelen dolgozatban nem célunk minden eredmény előadása, a gyártási technológia részletes ismertetése sem, csupán oly mértékű áttekintést adunk arról, hogy a későbbi mondanók érthetőségét megalapozzuk.

A művelettervezés során megállapított műveleti sorrend: darabolás, bázis felület esztergálása, oldalazás, bázis felület esztergálása a másik oldalról, előfűrés, belső furatesztergálás, simítás, menetvágás, horonymarás, menetfűrés, bordák vésése [1,2,3].

Előgyártmányként C45 nemesített húzott körszelvényű rúdacélt használtunk.



1. ábra A belső bordázott tengely rajza

Az alkatrész egyszerűbb legyárthatóságának érdekében a 82-es átmérőn található R5-ös lekerekítésnek R2-esre változtatását javasoltuk. Ennek oka, hogy a többi lekerekítés is R2-es volt. Ezáltal kevesebb szerszámmal lehet majd elkészíteni a munkadarabot, és az ehhez szükséges gépi főidő csökken. A megváltoztatott lekerekítést az 1. ábra mutatja.

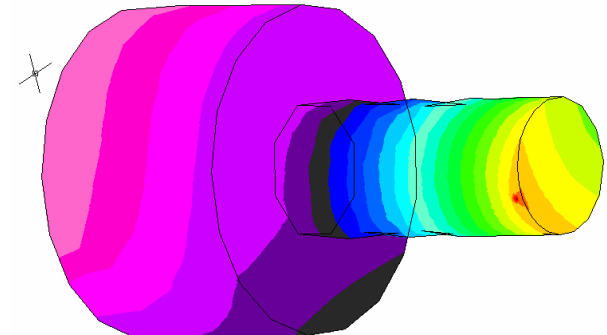
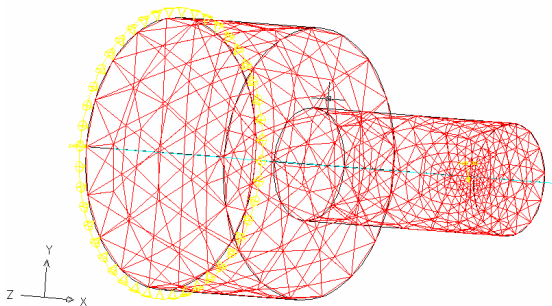
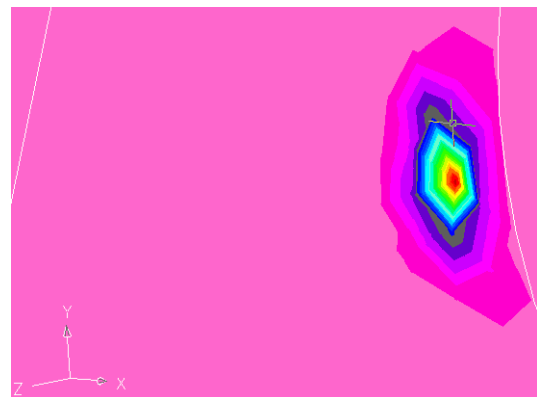
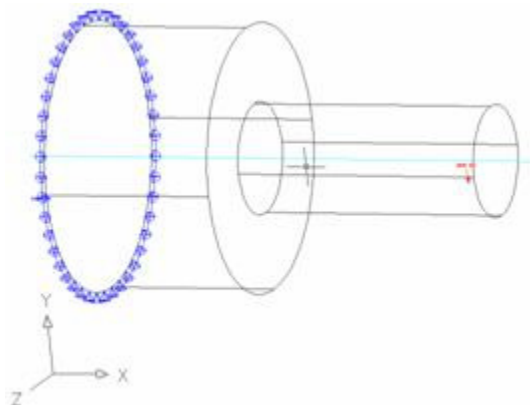
# MŰVELETEK VIZSGÁLATA VÉGESELEM MODELLEZÉSSSEL

## Nagyolási művelet

Az alkatrészt megrajzoltuk Mechanical Desktop segítségével, amely egy CAD alapú szoftver. Rendelkezik különböző analizáló modulokkal, mint például a végeselemes program. Az alkatrész megrajzolása után felvettük rajta a megtámasztásokat, majd megterheltük a főforgácsoló erővel. Azt az állapotot szimuláltuk, amikor éppen forgácsolódik a munkadarab. Mivel a 2. ábrán a munkadarab még kezdeti stádiumban van (2a), így egy egyszerűbb formának tűnik, de annál sűrűbb a végeselem háló (2b), ugyanis az ébredő feszültség nagy része elég kis helyre koncentrálódik, és ha ezt részletesen akarjuk vizsgálni, akkor nagy számú elemre van szükség.

A 3.a ábrán látható az eredő feszültség a forgácsolóerő támadáspontjának környezetében. Ennek maximuma 257,3 MPa, ami lényegesen kisebb az anyag folyáshatáránál, ami 760,0 MPa.

A 3.b ábra az alakváltozást mutatja. Látható, hogy a test egyes pontjai milyen messze kerültek eredeti helyüktől. A legnagyobb elmozdulás a munkadarab végén következik be, amikor a forgácsolóerő is ezen a helyen hat. Az elmozdulás maximális értéke 0,03153 mm. Ez azt jelenti, hogy a munkadarab vége ekkora távolsággal hajlik ki eredeti (terheletlen) helyzetéhez képest a nagyolás során, ha az ábrának megfelelő elrendezésben hajtjuk végre azt. Ebben az esetben a termék méretpontossága nem lesz megfelelő. Így arra a következtetésre jutottunk, hogy a hárompofás tokmány mellett meg kell támasztani még csúccsal is az alkatrészt. Manuális úton is kiszámoltuk, hogy ilyen L/D viszonynál érdemes csúccsal megtámasztani az alkatrészt, de számításunkat most a VEM vizsgálatok is igazolták, hiszen ekkora deformációnál erősen ajánlott ez a megtámasztási módszer.

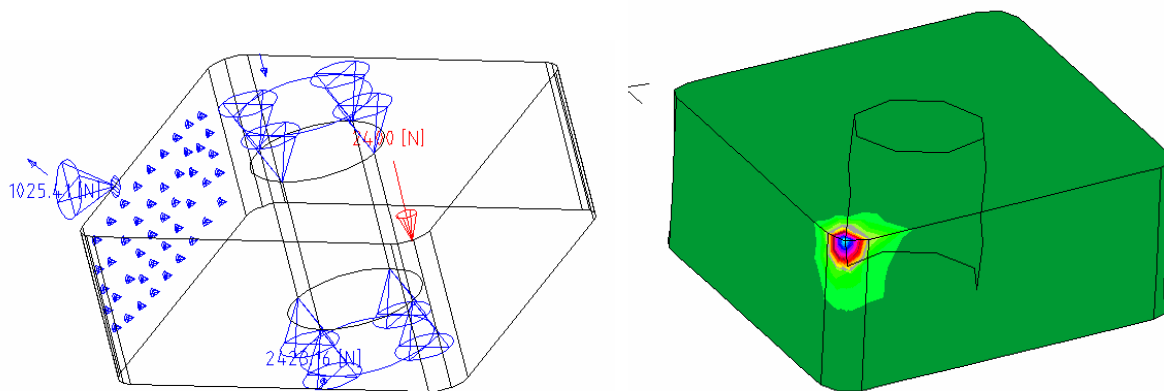


2.a,b ábra A munkadarab a nagyolási művelet során, és az alkalmazott végeselem háló

3.a,b ábra Az eredő feszültség a forgácsolóerő támadáspontjának környezetében, és a deformáció a

## A lapka vizsgálata

A lapkát szintén a Mechanical Desktopban rajzoltuk meg és a főforgácsolóerővel terheltük azon részen ahol kapja az igénybevételt. A keletkező feszültséget összevetettük a lapka anyagának folyáshatárával. Itt a lapka keményfém anyagára terjedt ki a vizsgálat, melynél kérdéses lehet hogy elbírja-e ez a kis lapka a főforgácsoló erőt, és nem keletkezik-e benne maradó alakváltozás. Vizsgáltuk a keletkező deformációt is.



4. a,b ábra A nagyoláskor használt lapka vázlatrajza a terhelésekkel és befogásokkal, és a számított eredő feszültség a lapkában

## Nagyolás megnövelt fogásmélységgel

A gépi fődő csökkentése lényeges gazdasági kérdés. Ezért megvizsgáltuk azt, hogy a nagyolási művelet során milyen feszültségviszonyok alakulnak ki akkor, ha a fogásmélységet a kétszeresére növeljük. Így lényegesen rövidebb idő alatt lehetne ezt a műveletet elvégezni.

A munkadarabban ébredő feszültség maximuma (800 MPa) ebben az esetben meghaladja annak folyáshatárát (760 MPa).

A lapka szilárdságát maximálisan kihasználja a nagyolásnak ez a módja. Ezért a lapka igénybevétele távol esik az optimálistól ebben az esetben, ami a lapka gyors tönkremenetelét eredményezné [3].

Ezért nem alkalmaztuk a megnövelt fogásmélységet a gyártási technológiában. Ugyanakkor nem zárjuk ki a nagyolás ilyen paraméterekkel való megvalósításának lehetőségét, ha azt egyéb gazdaságossági, vagy egyéb megfontolások alátámasztják (pl. szoros határidő).

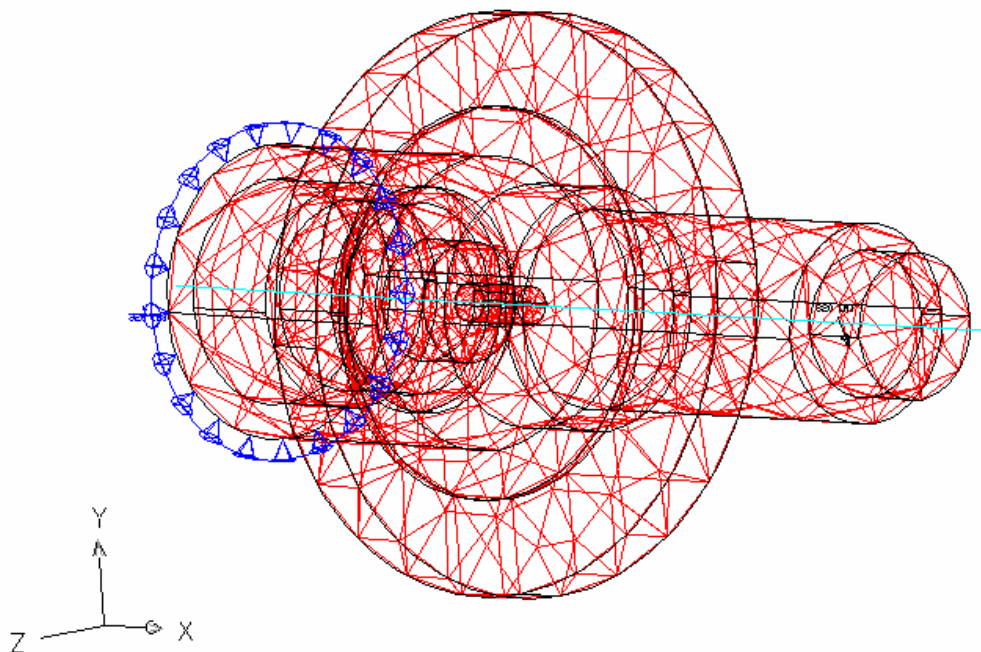
## Simítás

A simítás során fellépő erőhatások lényegesen kisebbek, mint nagyoláskor. A simítás tanulmányozása azért volt érdekes, mert betekintést kaptunk abba, hogy a modellezés informatikai korlátai miként tágíthatók egyszerűsítéssel.

A vizsgálatot elvégeztük egy simítási műveletnél is, ahol a munkadarab már egy bonyolultabb állapotban van, így sokkal sűrűbb végeselem hálót fogunk kapni, és ennek legenerálásához több időre van szükség. Míg az egyszerűbb alkatrész hálójának felépítéséhez elég volt fél óra, a másik több órát igényelt, a végeselemek száma az elsőnél 1000 körüli volt, míg a másikonál 3300 körüli. A végeselemek számát legjobban a bonyolult felületek növelik meg. Egy lekerekítés akár 14000-re is megnövelheti egy egyszerűbb munkadarabhoz szükséges végeselemszámot, de szintén növelik a bordák, menetek és a hornyok is.

Ezért próbaszámításokat végeztünk egyszerűbb alakatokon, amelyek igazolták azt, hogy a kis feszültségű tartományokban levő lekerekítések elhagyása nem befolyásolja számottevően a számítás eredményét. Ugyanakkor döntő mértékben csökkentette a csomópontok számát.

Ezért a simítási művelet modellezését a munkadarab egyszerűsített modelljén tudtuk elvégezni. A feszültségek és deformációk a munkadarabban nem vettek fel nagy értéket, ahogy az várható is volt.



6. a,b ábra A simítási művelet modellezésekor számított eredő feszültség és deformáció

## KÖVETKEZTETÉSEK

A végeselem módszerrel kapott számítási eredmények alapján megállapítottuk, hogy a nagyolás közben a kihajlás nagy mértékű, ezért a munkadarabot meg kell támasztani csúccsal, a minél jobb felületi minőség és pontosság elérése érdekében;

A nagyoló lapka analizálásakor nem keletkezett olyan nagy mértékű eredő feszültség, mely maradó károsodást okozna benne, így a lapka anyagán vagy a forgácsolási paramétereken nem változtattunk.

A nagyoláskor a kétszeres fogásmélységet az optimális lapka és szerszám gép élettartam megőrzése miatt nem alkalmazzuk. Ugyanakkor használatát nem zárjuk ki, ha egyéb megfontolások azt indokolják.

A simítás modellezésekor alkalmazhatók az egyszerűsítések.

A darabszámot és a gyártás technikai feltételét figyelembe véve a módosított alkatrész legyártható az adott cégnél, ahonnan az alkatrészt kaptuk.

Az alkatrész egyszerűbb gyárthatóságának és rövidebb gyártási idő érdekében a 82-es átmérőn található R5-ös lekerekítést R2-esre változtatását javasoltuk.

## FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] DUDÁS Illés: Gépgyártástechnológia I. és III.-as kötet. (62, 198, 200, 496-546)
- [2] FRIDIK-LESKÓ: Gépgyártástechnológia alapjai Budapest 1987
- [3] Sandvik Coromant elektronikus katalógus 2002 eszterga szerszámok
- [4] BÁLINT Lajos: Forgácsoló megmunkálások tervezése
- [5] KISS Lajos: Mechanika I-III. Nyíregyházi Főiskola, Nyíregyháza, 2004
- [6] POPPER György: A végeselem-módszer matematikai alapjai, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [7] PÁCELT István : A végeselem-módszer alapjai, Miskolci Egyetemi Kiadó, Miskolc 1993



# FOTOKÉPLÉKENYSÉGTAN A FÉMALAKÍTÁS MODELLEZÉSÉNÉL

## BEVEZETÉS

Fém alkatrészek nyomással történő megmunkálása tervezésénél jelentkező követelmények közül most csak kettőt emeljük ki:

Az egyik elvárás az, hogy a nehezen alakítható anyagokat is fel lehessen dolgozni. A másik követelmény az, hogy az alakítás során ne keletkezzen veszélyes feszültségkoncentráció, illetve sem a felületen, sem az alkatrészen belül ne keletkezzen repedés sem a gyártás során, sem az alkatrész üzemszerű alkalmazásánál. A helyes alakító szerszám és technológia megtervezése igényli a folyamat mechanikai oldalának ismeretét. Az alakítás mechanikai folyamatának elemzésére elméleti-, numerikus- és kísérleti módszerek alakultak ki. Jelen munkánkban egy olyan kísérleti módszert mutatunk be, mely a kísérleteknél műanyag modelleket alkalmaz.

## 1. A KÍSÉRLETI MÓDSZER KIVÁLASZTÁSA

A polarizációs-optikával (fotorugalmasságtannal) foglalkozók azt észlelték, hogy bizonyos műanyagok képlékeny alakváltozási állapotban is mutatnak optikai kettőtörést. Ezért azt a célt tűztük ki, hogy kíséreljük meg a fotoképlékenységtan módszert alkalmazni a térbeli, nagy maradó alakváltozással járó fémalakítási folyamat modellezésére.

A fotoképlékenységtan módszer alkalmazhatóságának alapja a megfelelő fotoképlékeny anyag. Az anyag optikai- mechanikai tulajdonságai meghatározzák a kísérleti módszer struktúráját, a szükséges berendezéseket, a kísérleti technikát, a feszültségi- és alakváltozási állapot meghatározásának módszerét, stb.

A fotoképlékeny anyag (műanyag) különbözik a modellezett fém alkatrész anyagától. Ezért a modellezés kérdései és a modellen nyert adatok átszámítása a modellezés törvényei alapján a fém alkatrészeire nagyon fontos kérdések. Itt, a fotorugalmasságtanban szokásos geometriai-, peremfeltételek-, terhelések hasonlóságán felül még a következő feltételeket is ki kell elégíteni:

- a modell és a fém alkatrész reológiai tulajdonságai hasonlóak legyenek
- mindkét anyagnál azonos legyen a folyási feltétel
- legyenek hasonlóak a termofizikai tulajdonságok, valamint a szerszám és alkatrész közötti súrlódási viszonyok.

Az eltérő súrlódási viszonyok természetesen korlátozzák az alkalmazható anyagok körét.

Az első két feltétel teljesedését kísérlettel lehet ellenőrizni. A fotoképlékeny anyagok kiválasztásánál azonban még további követelmények is jelentkeznek. Például a jó átlátszóság, megfelelő optikai érzékenység (értékelhető kettős törés), könnyű megmunkálhatóság (forgácsolással), jó alakíthatóság.

Tapasztalat szerint ha a hasonlósági feltételek teljesülnek, a műanyag modell és a fém alkatrész elmozdulási- és alakváltozási állapota megegyezik. Ezért a fém alkatrész feszültségi állapotát célszerű annak alakváltozási állapotából számítani az alakváltozási elmélet, vagy a képlékeny folyás elmélete alapján. A műanyag modell anyagnál annak alakváltozási állapota ismeretében igen bonyolult feladat a feszültségállapot számítása, mivel a folyási feltétel függ a közepes normál feszültségtől. Ekkor célszerű például a Tresca vagy Mises elmélet helyett pl. a Mohr- Coulomb- féle elméletet alkalmazni. A tapasztalat azt mutatja továbbá, hogy a következő műanyagok nem alkalmasak térbeli, nagy maradó alakváltozások fotoképlékenységtani vizsgálatokra:

- celluloid, a nagy optikai- mechanikai kúszás miatt,

- polisztirol, a húzófeszültségnél tanúsított ridegség valamint a kis alakíthatóság és, a jelentős viszkorugalmas tulajdonság miatt,

- polietilén, nagy maradó alakváltozásnál elveszti átlátszóságát, optikailag kevésbé érzékeny.

Végül is két műanyag mutatkozott alkalmasnak a térbeli, nagyméretű maradó alakváltozások modellezésére: a **polikarbonát (PC)** és a **polimetilmetakrilát (PMMA)**.

## 2. HIPOTÉZIS

Néhány műanyag bizonyos feltételek mellett a fémekhez hasonlóan sajtolással, kovácsolással, hengerléssel, stb. alakítható (1. ábra). Tapasztalat szerint a kezdetben optikailag izotróp műanyagok a nagy maradó alakváltozási tartományban is anizotróppá válnak. Az a kérdés vetődik fel, hogy létezik-e függvénykapcsolat a törésmutató tenzor változása és a nagy maradó alakváltozás között? Ha igen, akkor az u.n. fotoképlékenységtani módszer alkalmas a fémalakítás modellezésére.

Az a hipotézis állítható fel, hogy jó közelítéssel a törésmutató változása (az optikai kettőtörés retardációja) a nagy maradó alakváltozási tenzor főértékeinek különbségével van függvénykapcsolatban. Ezen feltevés helyességét polikarbonát (PC) és polimetilmetakrilát (PMMA) térbeli műanyag modellek zömítő és kovácsoló kísérleteivel igazoltuk. Az elmozdulási- és alakváltozási mező meghatározását ezen anyagok u.n. alakemlékező (shape memory effect) tulajdonsága tette lehetővé.

A nagy maradó alakváltozáskor jelentkező optikai anizotrópia minden bizonnyal sok mindentől függ: a  $\sigma_{ij}$  feszültségi- és az  $\varepsilon_{ij}$  alakváltozási állapotól, ezek időszerinti deriváltjaitól és  $I_\sigma, I_\varepsilon$  invariánsaitól, a T hőmérséklettől, stb.:

$$\delta_m = \delta_m(\sigma_{ii}; \varepsilon_{ij}; \dot{\sigma}_{ij}; \dot{\varepsilon}_{ij}; I_\sigma; I_\varepsilon; T; \omega; \dots). \quad (1)$$

Jó közelítéssel a nagy maradó alakváltozással járó alakításnál az  $\varepsilon_{ij}^e$  rugalmas rész elhanyagolható:

$$\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \varepsilon_{ij}^p \cong \varepsilon_{ij}^p. \quad (2)$$

A feladat leegyszerűsítése miatt így tételezzük fel, hogy a piezooptikai effektus a

$$\delta_m \cong \delta_m(\varepsilon_{ij}^p) = K(?) (\varepsilon_p - \varepsilon_q), \quad (m, p, q = 1, 2, 3; m \neq p, q) \quad (3)$$

kifejezéssel írható le, ahol  $\delta_m = (n_p - n_q)$  a polarizskópba helyezett modellben a polarizált fénysugár egységnyi optikai úthosszra eső fáziskésése (retardációja),  $n_p, n_q$  a fő-törésmutatók;

$\varepsilon_p$  és  $\varepsilon_q$  pedig az Euler szemlélettel értelmezett (végállapotbeli) Chauchy-féle maradó alakváltozási tenzor fénysugárra merőleges síkbeli (szekundér) főnyúlása. A vizsgálatban feltételezzük (ez elméleti úton is bizonyítható), hogy az optikai főirányok és az alakváltozási tenzor főirányai megegyeznek.

A (3) egyenletben megjelenő  $K(?)$  szorzótényező itt nem állandó, ellentétben a fotorugalmasságtanban tapasztaltakkal. Sejtés szerint annak tükröznie kell az optikai anizotrópia és a maradó alakváltozás mértékét. Az elméleti vizsgálatok arra az eredményre vezettek, hogy ezt  $(K)$  a törésmutató tenzor, valamint a maradó alakváltozási tenzor  $I_2^*(n_{ij})$  és  $I_2^*(\varepsilon_{ij}^p)$  második skaláris invariánsaival a következő módon lehet kifejezni:

$$K = K[\sqrt{I_2^*(n_{ij})} / \sqrt{I_2^*(\varepsilon_{ij}^p)}] = \dots = \frac{2}{3} \frac{I_{opt}}{I_{def}}. \quad (4)$$

Az optikai intenzitás

$$I_{\text{opt}} = \sqrt{\frac{1}{2}(\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2)} \quad (4/1)$$

módon értelmezett kifejezésében  $\delta_1, \delta_2, \delta_3$  az optikai főirányokhoz tartozó fáziskésést, az alakváltozás intenzitás

$$I_{\text{def}} = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varepsilon_1 - \varepsilon_2)^2 + (\varepsilon_2 - \varepsilon_3)^2 + (\varepsilon_3 - \varepsilon_1)^2} \quad (4/2)$$

képletében  $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$  a fent említett maradó alakváltozási tenzor főértékeit jelentik. Az itt szereplő mennyiségek között az alábbi összefüggések állnak fenn:

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 0; \quad \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 1. \quad (5)$$

Az (4/2) egyenlet a térfogat állandóságot fejezi ki.

### 3. KÍSÉRLET

A /3/-as egyenlet helyességét, valamint a kísérleti körülményektől függő K szorzótényezőt -azaz a hitelesítési függvényt- kísérleti úton lehet ellenőrizni, ill. meghatározni.

Kétféle, a gyakorlatban gyakran előforduló fémalakítást modelleztünk. Az egyik PC körhenger modell zömítése, a másik pedig PMMA körhenger modell különböző szélességű, bemetszett nyomófejek közötti kovácsolása (2. és 3. ábra). Az előbbi kísérlet szoba-hőmérsékleten, az utóbbi pedig  $85^\circ\text{C}$ -n ment végbe, azaz mindkét esetben a  $T_g$  lágyulási (üvegesedési) hőmérséklet alatt.

Tapasztalat szerint a szoba- hőmérsékletű deformált modell gondos, hő fejlődéssel nem járó technológiával (fűrészeléssel, esztergályozással, gyalulással) felszeletelhető a végállapotra jellemző optikai- és mechanikai állapot megzavarása nélkül (2. és 4. ábra). Vákuumos megfogással a szelet gyalugépen úgy munkálható meg, hogy az tetszőleges vastagságú, párhuzamos felülettel határolt lesz. A szelet átlátszósága nedves csiszolással, polírozással érhető el.

A kísérleteket úgy kell megtervezni, hogy általában három próbatest készüljön teljesen azonos körülmények között. Ezáltal három egymásra merőleges szeletsort kapunk a modellekből. Így a fotorugalmasságtan módszerével (merőleges- és ferde átvilágítás, index ellipszoid alkalmazása) a /3/-as egyenlet baloldala, azaz az optikai főirányok és a hozzájuk tartozó fázis különbségek (izokróm rendszámok, izoklin szögparaméterek), valamint az optikai intenzitás értéke a térbeli modell tetszőleges pontjában meghatározható.

Nagyobb gondot okoz a (3)-as egyenlet jobboldalának meghatározása. Itt felhasználtuk a műanyag modell anyag u.n. alakemlékező tulajdonságát. Ez a jellemző azt jelenti, hogy a nagy maradó alakváltozást szenvedett modell visszatér kiindulási, terhelés előtti helyzetébe, ha annak hőmérsékletét az anyagra jellemző u.n.  $T_g$  lágyulási hőmérséklete fölé emeljük. Így a deformált modellekből kivágott szeletek is visszatérnek kezdeti helyzetükbe, miközben a felületre karcolt, 1-2 mm osztású négyzetes háló deformálódik (5. ábra). Azon szelet szimmetria síkja, mely a modell szimmetria síkjába esett, e folyamat során is sík marad. Ellenkező esetben nem. Ezért gondoskodni kell arról, hogy a lágyulási hőmérsékleten a súlyerő hatására a szelet ne vegye fel a támasztó felület alakját. Ezt úgy értük el, hogy a szeleteket velük azonos fajsúlyú folyadékban melegítettük. Polikarbonát modellnél  $148^\circ\text{C}$ -s glicerint, PMMA modellnél pedig telített sóoldatot használtunk. A vég és kezdeti állapothoz tartozó

szeleteken a négyzetes háló csomópontjainak koordinátáit nagypontosságú műszeren olvastuk le. Az elmozdulási- és alakváltozási mező meghatározására az u.n. koordináta háló módszert használtuk.

#### 4. AZ OPTIKAI MENNYISÉGEK MEGHATÁROZÁSA

Ismeretes, hogy a kezdetben optikailag izotróp közeg az alakváltozás során optikailag anizotróppá válik. Abban az esetben, amikor az elektromágneses hullám anizotróp közegben terjed, az erre vonatkozó elmélet szerint az anizotróp közegbe érkező elektromágneses hullám két, egymásra merőleges síkban polarizált, különböző terjedési sebességű elektromágneses hullámra bomlik. Ezek hullámfrontjainak normálisai a beeső hullámfront normálisával azonosak. A polarizációs optikai módszernél alkalmazott úgynevezett polarizskóp segítségével egyrészt mérhető az eltérő hullámterjedési sebességből származó  $\delta$  fáziskésés (izokróóm mező), másrészt meghatározható e két sík helyzete ( $\varphi$  izoklin mező). Abban az esetben, amikor a beeső elektromágneses hullám frontjának normálisa összeesik az index- ellipszoid valamelyik  $\vec{e}_m$ , ( $m=1, 2, 3$ ) főtengelyével, akkor a  $\delta_m$  fő optikai útkülönbség ( fő retardáció, fő fáziskülönbség) a

$$\delta_m = (n_p - n_q), \quad (m, p, q = 1, 2, 3; m \neq p, q) \quad (6)$$

alakba írható, ahol  $n_p, n_q$  a fő törésmutatókat jelentik. Elfogadva az

$$n_1 > n_2 > n_3 \quad (7)$$

jelölést, a fentiek alapján

$$\delta_1 = n_2 - n_3,$$

$$\delta_2 = n_3 - n_1, \quad (8)$$

$$\delta_3 = n_1 - n_2$$

és

$$\delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 0 \quad (9)$$

írható.

Ezekkel a mennyiségekkel az optikai anizotrópia intenzitása a  $(4/1)$  kifejezéssel felírható.

Valamely tetszőleges pontban legyen a fő törésmutatók értéke rendre  $n_A, n_B$  és  $n_C$ , melyek egyben e ponthoz tartozó

$$\left( \frac{x_1}{n_A} \right)^2 + \left( \frac{x_2}{n_B} \right)^2 + \left( \frac{x_3}{n_C} \right)^2 = 1 \quad (10)$$

index- ellipszoid főtengelyeinek felét jelentik. Metsszük el ezt az index- ellipszoidot azzal a két  $\Pi_\alpha$  és  $\Pi_\beta$  jelű síkokkal, melyek rendre merőlegesek az  $[x_2; x_3]$  és  $[x_1; x_3]$  koordináta síkokra. Ezek a metsző síkok az  $x_2$  és  $x_1$  koordinátatengelyekkel rendre  $\vartheta$  és  $\gamma$  szöget zárnak be (6. ábra). E metszősíkok  $[x_2; x_3]$  és  $[x_1; x_3]$  síkokban fekvő  $\vec{N}_\alpha$  és  $\vec{N}_\beta$  normálvektorai az  $x_3$  tengellyel  $\alpha$  és  $\beta$  szöget zárnak be ( $\vartheta = \alpha$ ;  $\gamma = \beta$ ). Az index- ellipszoid metszetei ellipszisek lesznek, melyek fél főtengelyei a következők:  $n_A, n_\alpha$  és  $n_B, n_\beta$ , ( $n_A, n_B$ - főértékek;  $n_\alpha, n_\beta$ - szekunder főértékek).

Ha az index ellipszoid fősíkjaira merőleges  $\vec{N}_A, \vec{N}_B$  és  $\vec{N}_C$ , valamint a két  $\Pi_\alpha$  és  $\Pi_\beta$  metszősíkokra merőleges  $\vec{N}_\alpha$  és  $\vec{N}_\beta$  irányú megvilágítást alkalmazunk ( a polarizkópban), akkor az optikai útkülönbségekre ( fáziskülönbségekre) a következő összefüggéseket kapjuk:

$$\vec{N}_A : \quad \delta_A = (n_B - n_C), \quad (11)$$

$$\vec{N}_B : \quad \delta_B = (n_C - n_A), \quad (12)$$

$$\vec{N}_C : \quad \delta_C = (n_A - n_B), \quad (13)$$

$$\vec{N}_\alpha : \quad \delta_\alpha = (n_A - n_\alpha), \quad (14)$$

$$\vec{N}_\beta : \quad \delta_\beta = (n_B - n_\beta). \quad (15)$$

Ezt az egyenletrendszert kiegészítve a metszéskor kapott ellipszisekre felírható:

$$n_\alpha^2 = x_2^2 + x_3^2 = n_B^2 \cos^2 \alpha + n_C^2 \sin^2 \alpha, \quad (16)$$

$$n_\beta^2 = x_1^2 + x_3^2 = n_A^2 \cos^2 \beta + n_C^2 \sin^2 \beta, \quad (17)$$

és

$$\begin{aligned} x_2 &= n_B \cos \vartheta, \\ x_3 &= n_C \sin \vartheta, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} x_1 &= n_A \cos \gamma, \\ x_3 &= n_C \sin \gamma \end{aligned} \quad (19)$$

egyenletekkel, elvben lehetséges a  $\delta_m$ , ( $m=1, 2, 3$ ) fő optikai útkülönbség (főretardáció) meghatározása a maradó deformációt szenvedett próbatestből kivágott egyetlen szelet segítségével.

Például ha az  $(x_1; x_2)$  koordinátasíkot létrehozó szeletünk van, akkor annak  $\vec{N}_C$  merőleges és két  $\vec{N}_\alpha, \vec{N}_\beta$  ferde átvilágításával nyerjük a  $\delta_C, \delta_\alpha$  és  $\delta_\beta$  fáziskülönbség értékeket. A fenti egyenletek alapján ezen mennyiségek ismeretében a többi törésmutató és optikai útkülönbség már számítható. Például az  $n_A$  törésmutatóra a következő kifejezés adódik:

$$n_A = \frac{\delta_C^2 \cos^2 \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta} (\delta_C + \delta_\beta)^2 - \delta_\alpha^2}{2 \left[ \delta_C \cos^2 \alpha + \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \beta} (\delta_C + \delta_B) - \delta_\alpha \right]}, \quad (\alpha \neq \beta). \quad (20)$$

Nézzünk meg néhány gyakorlati esetet.

a) Tegyük fel, hogy a vizsgált P pont szimmetria pont, azaz két vagy három szimmetria sík metszéseként adódó pont. Ebben az esetben ha alkalmazzuk a fent említett módszert egy szelet alkalmazásával, akkor számíthatók az ismeretlen optikai mennyiségek.

Ha a vizsgálati P pontot két olyan szelet pontja, melyek egymásra merőleges és szimmetria síkokkal párhuzamosak, akkor a szeletek merőleges átvilágításával nyert két fő fáziskülönbség értékének ismeretében a harmadik fő fáziseltérés értéke a (9)-es egyenletből számítható.

b) Gyakran előfordul az az eset amikor szimmetria síkban lévő vizsgált P pont nem esik a szimmetria tengelyre. Ebben az esetben az alábbi esetek fordulhatnak elő.

b/1. Tegyük fel, hogy csak egyetlen  $\Pi$  szeletünk van, mely tartalmazza a szimmetria síkot (7. ábra). Ekkor mérjük meg a szelet  $\vec{N}_C$  normális átvilágításánál a szóban forgó pontban a  $\delta_C$  fáziskülönbséget és a  $\varphi$  izoklin szögparamétert. Ezután forgassuk el a  $\Pi$  jelű szeletet a P pontbeli  $\vec{e}_A$  és  $\vec{e}_B$  főirányok körül  $\alpha$ , illetve  $\beta$  szöggel és mérjük meg az ezen állásokhoz trtozó P pontbeli fázisszögeket és izoklin szögparamétereket. A mérési adatok ismeretében a (11- 17) egyenletek segítségével az ismeretlen optikai mennyiségek számíthatók.

b/2. Tegyük fel, hogy a vizsgált P pont nem csak a  $\Pi$  jelű szeletben van, hanem az erre merőleges B ( $\Gamma$ ) jelű szeletben is (7. ábra). Ebben az esetben méréssel meghatározható a  $\delta_C$  fáziskésés és a  $\varphi$  izoklin paraméter a  $\Pi$  szelet merőleges átvilágításánál. Ezután a B ( $\Gamma$ ) szeletet olyan fénysugárral világítjuk át, melynek  $\vec{N}_A$  illetve  $\vec{N}_B$  iránya összeesik a  $\vec{e}_A$ , illetve  $\vec{e}_B$  főirányokkal, melyek a P pontbeli  $\varphi$  izoklinával meghatározottak. Ilyen módon másik,  $\delta_A$  (vagy  $\delta_B$ ) fő fáziskésés értéket kapunk. Ezután ismerve két, méréssel kapott fő fáziskésés mértékét a harmadik fő fáziskésés értéke a (9) egyenletből számítható.

c) Általános esetben amikor a vizsgált pontban nem ismeretesek a főirányok, azaz amikor az átvilágításánál a hullámfrontok normálisai nem esnek össze az index- ellipszoid főirányaival, a (6) egyenletben szereplő mennyiségek úgynevezett szekunder mennyiségek. Ez esetben jelenleg még nincs megoldás arra, hogy a mért adatokból számítani lehetne az optikai mennyiségeket.

Megjegyzések:

- Nagy maradó alakváltozásnál az optikai mennyiségek számításakor ugyancsak elhanyagolhatók a rugalmas részhez tartozók.
- A kísérlet során meghatározott optikai mennyiségek a modell deformált, végállapotához tartoznak.

## 5. AZ ALAKVÁLTOZÁSI ÁLLAPOT VIZSGÁLATA

A három, egymásra merőleges szeletsor segítségével az  $u_i(x_i) = x_i - a_i(x_i)$ ,  $i = 1, 2, 3$  elmozdulás mező  $\vec{u} = u\vec{e}_x + v\vec{e}_y + w\vec{e}_z$  elmozdulás vektora három koordinátáját diszkrét pontokban, a négyzetes háló csomópontjaiban ismerjük. Egy – egy négyszögtartományon belül az ismeretlen elmozdulás koordináta függvényeket e négy pontra illeszkedő kétváltozós függvénnyel közelítjük. Pl. a z-re merőleges szelet u elmozdulás koordináta függvényét az

$$u(x, y, z = \text{const.}) = A_0 + A_1x + A_2y + A_3xy$$

függvénnyel közelítjük. Ennek együtthatóit az  $\underline{u}_{pq} = \underline{M}_{pq} \underline{A}_{pq}$  lineáris algebrai egyenletrendszer  $\underline{A}_{pq} = (\underline{M}_{pq})^{-1} \underline{u}_{pq}$  megoldása szolgáltatja.

Ezt követően Euler-féle (a végállapothoz tartozó) szemlélettel a nagy maradó alakváltozás Cauchy-féle tenzora és annak főértékei az ismert módon számíthatók:

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\partial a_m}{\partial x_i} \frac{\partial a_m}{\partial x_j}. \quad (21)$$

Az alakváltozási tenzor főértékeinek eloszlását néhány szeletben az 8. és 9. ábra szemlélteti. A nagyszámú mérési adat igazolta a (3)-as hipotézis helyességét. Az optikai- és alakváltozási intenzitás közötti nemlineáris függvénykapcsolatot a 10. ábra érzékelteti.

A (3)-as és (5)-ös egyenletek segítségével felírható az optikai és mechanikai mennyiségek közötti függvény kapcsolatra jellemző

$$K^2 \varepsilon_m^3 + K(\delta_p - \delta_q) \varepsilon_m^2 - \delta_p \delta_q \varepsilon_m - K^2 = 0; \quad m, p, q = 1, 2, 3; m \neq p, q. \quad (22)$$

harmadfokú egyenlet. Ennek segítségével a könnyebben meghatározható optikai mennyiségek ismeretében a maradó alakváltozási tenzor főértékei számíthatók.

A kísérlet során az optikai mennyiségeket ( izokróm rendszám, izoklin szögparaméter) a deformált modell végállapotában, tehát az Euler- féle szemléletben határoztuk meg. Jogos az a felvetés, hogy a vizsgált folyamat helyességét melyik szemlélettel felírt alakváltozási állapot tükrözi a legjobban. Ezért a (3)- as hipotézis helyességét megvizsgáltuk a Lagrange -, és Euler- féle szemlélettel felírható alakváltozási tenzorok, valamint a nem tenzor jellegű logaritmikus fajlagos nyúlások segítségével is. Így került sor az Euler (végállapotbeli) szemlélettel felírható

$$\varepsilon_{ij} = \frac{\partial a_m}{\partial x_i} \cdot \frac{\partial a_m}{\partial x_j} \quad (23)$$

Cauchy-, az

$$e_{ij} = \frac{1}{2}(\delta_{ij} - \varepsilon_{ij}) \quad (24)$$

Almansi-, és a

$$\bar{B}_{ij} = \frac{\partial a_i}{\partial x_m} \cdot \frac{\partial a_j}{\partial x_m} \quad (25)$$

Fingera- féle alakváltozási tenzorok, továbbá a Lagrange szemlélettel ( kezdeti állapot) felírható

$$b_{ij} = \frac{\partial x_m}{\partial a_i} \cdot \frac{\partial x_m}{\partial a_j} \quad (26)$$

Cauchy-, az

$$l_{ij} = \frac{1}{2}(b_{ij} - \delta_{ij}) \quad (27)$$

Green-, és a

$$B_{ij} = \frac{\partial x_i}{\partial a_m} \cdot \frac{\partial x_j}{\partial a_m} \quad (28)$$

Fingera- féle alakváltozási tenzorok (ahol  $i, j, m = 1, 2, 3$ ;  $\delta_{ij}$  - a Kronecker delta), valamint a nem tenzor jellegű  $\bar{\varepsilon}_k$  ( $k = 1, 2, 3$ ) logaritmikus fajlagos nyúlás alkalmazására.

Az  $\vartheta_{ij}$  és  $b_{ij}$  alakváltozási tenzorok főértékeivel a logaritmikus fajlagos nyúlás

$$\bar{\varepsilon}_k = -\frac{1}{2} \ln \vartheta_k = \frac{1}{2} \ln b_k, \quad (k=1, 2, 3) \quad (29)$$

módon fejezhető ki.

Ismeretes, hogy az  $\vartheta_{ij}$  és  $b_{ij}$  alakváltozási tenzorok főértékei között a következő az összefüggés:

$$b_i = \frac{1}{\vartheta_i}, \quad (i=1, 2, 3), \quad (30)$$

$(b_1 \geq b_2 \geq b_3 > 0); (0 < \vartheta_1 \leq \vartheta_2 \leq \vartheta_3)$ .

A kísérlet során előbb az  $\vartheta_{ij}$  alakváltozási tenzor koordinátáit határoztuk meg. Ezután alkalmazva a (30) és (29) kifejezéseket a  $b_{ij}$  alakváltozási tenzort és az  $\bar{\varepsilon}_k$  logaritmikus fajlagos nyúlást határoztuk meg (8. és 9. ábra).

A műanyag modell, ill. a fém alkatrész feszültségállapota (monoton, lassú, azonos alakváltozást feltételezve) vagy a Hencky egyenlet, vagy a képlékeny folyás elmélet alkalmazásával meghatározható.

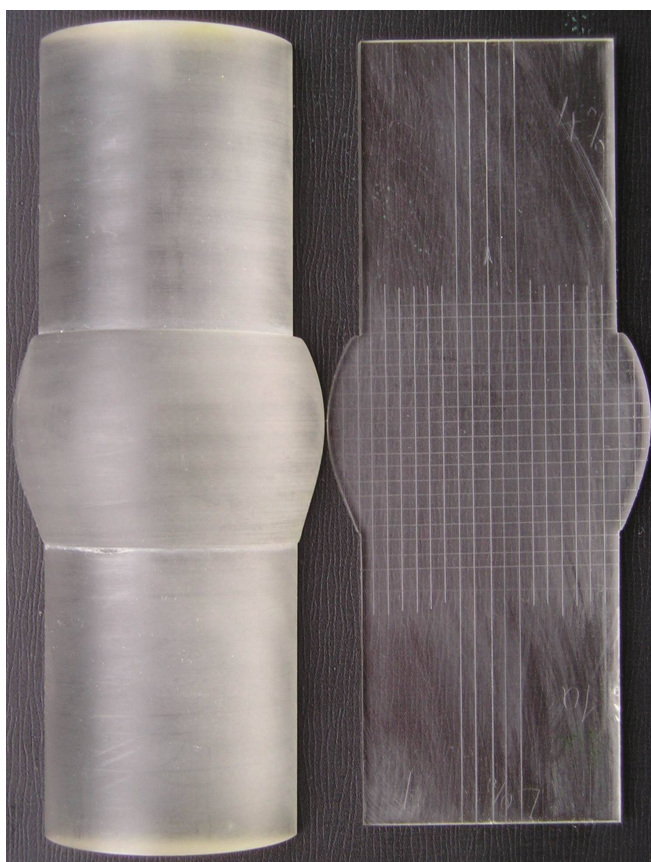
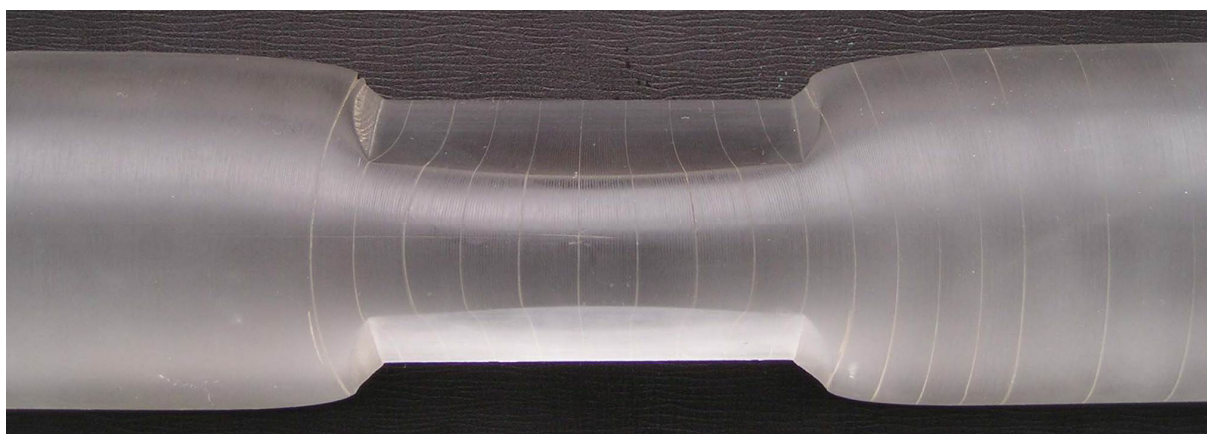
## 6. KÖVETKEZTETÉSEK

1. Mindkét, PC és PMMA anyag alkalmas a fémalakítás modellezésére.
2. A fotoképlékenységtan módszer alkalmazásával a nagy maradó alakváltozási állapot 5-10 % pontossággal meghatározható.
3. A nagy maradó alakváltozási állapot meghatározására két út kínálkozik:
  - az optikai mennyiségek meghatározása után a (3)-as hipotézis alkalmazása,
  - az anyag alakemlékező tulajdonságának felhasználása.

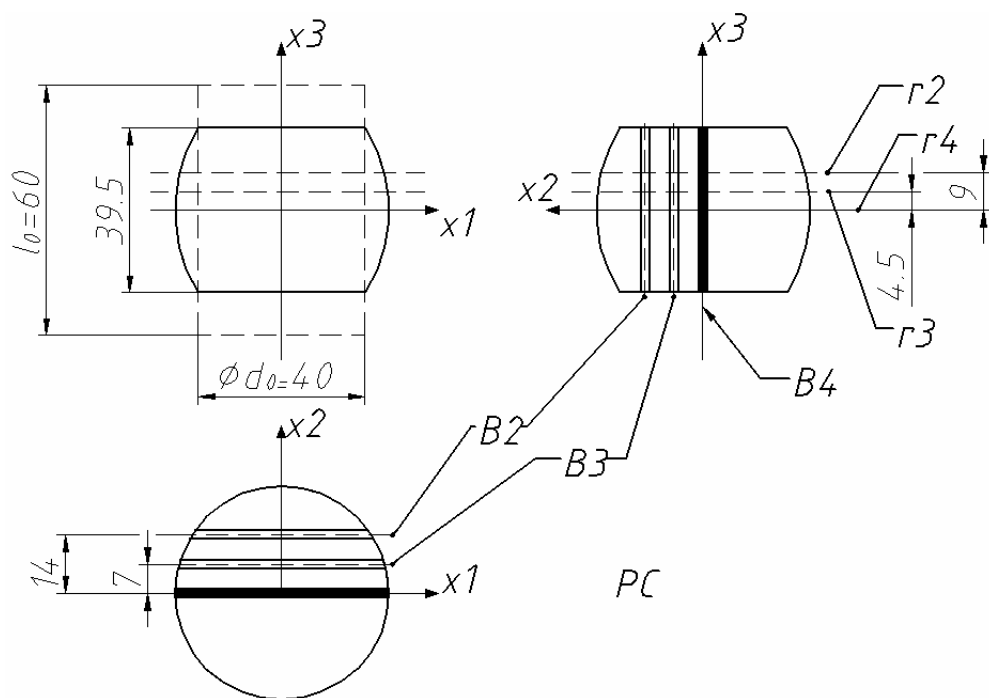
### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] BRILL, W. A. : Basic Studies in Photoplasticity. Ph.D. Thesis. Stanford University, 1965, 63.
- [2] TARNOVSKIJ, I. Ja. – TRUBIN, V. N. – ZLATKIN, M. G. : Szvobodnaja kovka na presszah. Masinosztroenije, Moszkva, 1967. 328.
- [3] DALLY, J. W. and MULC, A. : Polycarbonate as a Model Material for Three-Dimensional Photoplasticity. Transactions of the ASME, 1973, 6, pp. 600 -605.
- [4] Sándor NAGY: Investigation and development of the method of photoplasticity and its application to the determination of large residual strains in metalforming. (Sandor Nad: Razrabotka i issledovanyie metoda fotoplaszticsnosztyi i ego iszpolzovanyije dlja izucsényija konecsnüh deformácij v processzah OMD).Ph.D. Thesis, Institute of Steel and Alloys, Moszkva, 1981, p. 206.
- [5] Dr NAGY Sándor- Dr. PÉTER László- SZÁZVAI Attila: Hipotézis és kísérlet a fémalakítás modellezésénél MTA-AMB 2006. évi XXX. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő, 2006

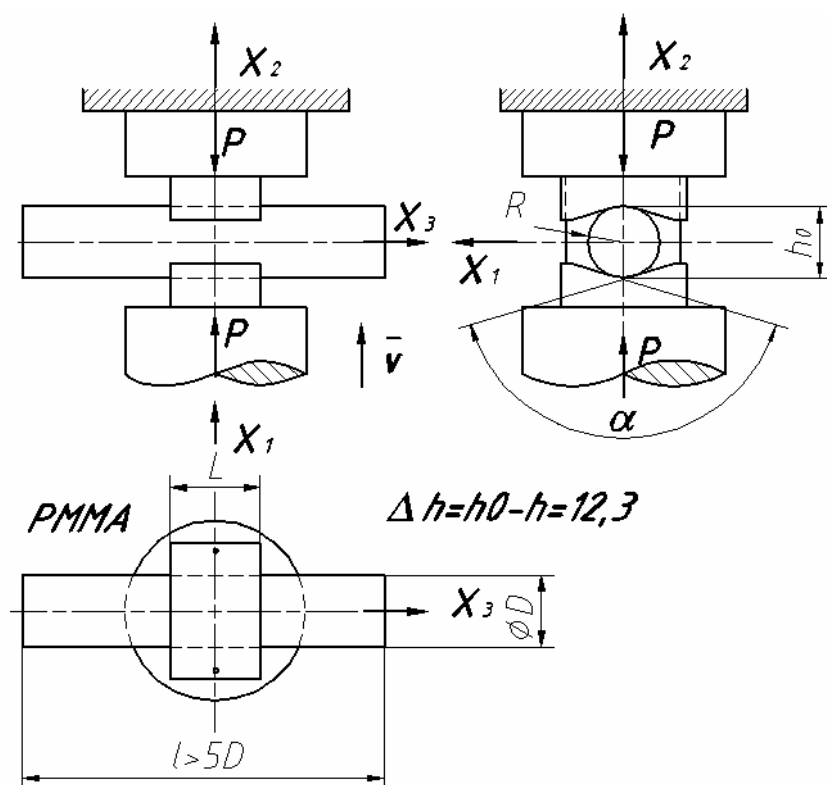




1. ábra Körhenger műanyag modellek nagy képlékeny alakváltozása zömítésnél és kovácsolásnál

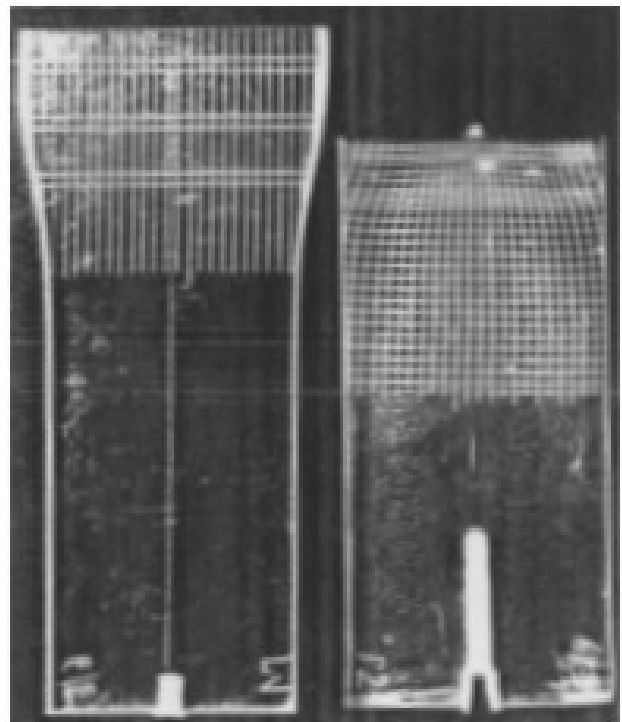
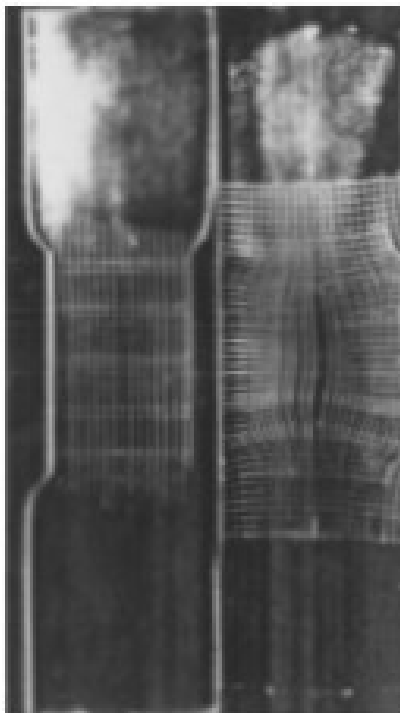
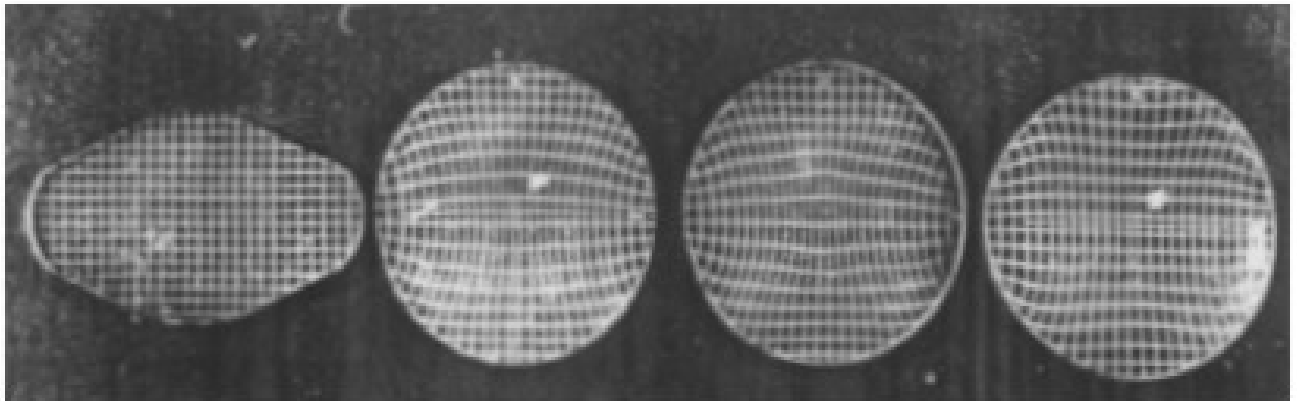


2. ábra Polikarbonát henger zömítése  $T=20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v=1.66\times 10^{-5}\text{ m/s}$

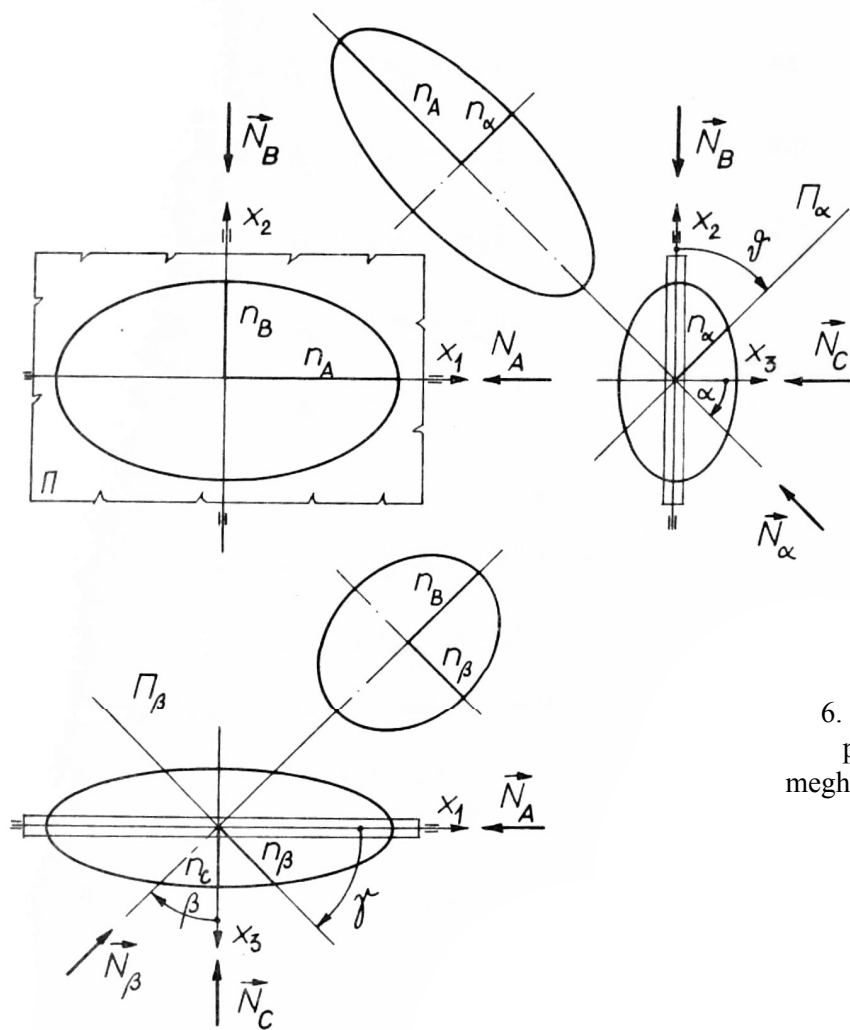


3. ábra PMMA körhenger kovácsolása bemetszett nyomófejek között  
 $T=84\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $v=0.813\times 10^{-5}\text{ m/s}$ ;  $\varnothing D=45\text{ mm}$ ;  $L=10, 20, 30, 40, 50\text{ mm}$



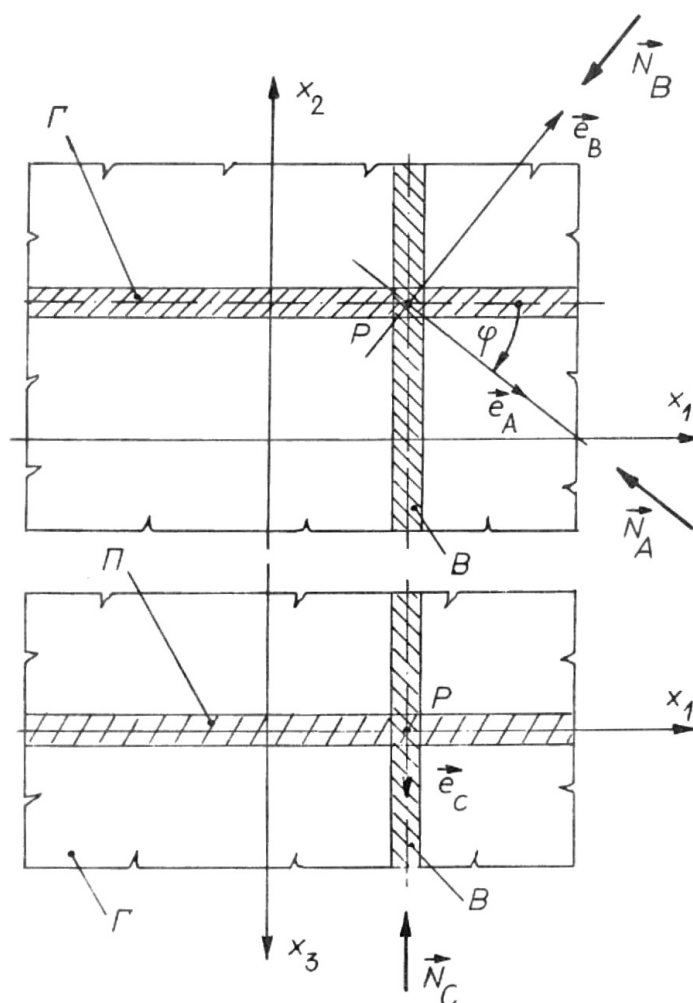


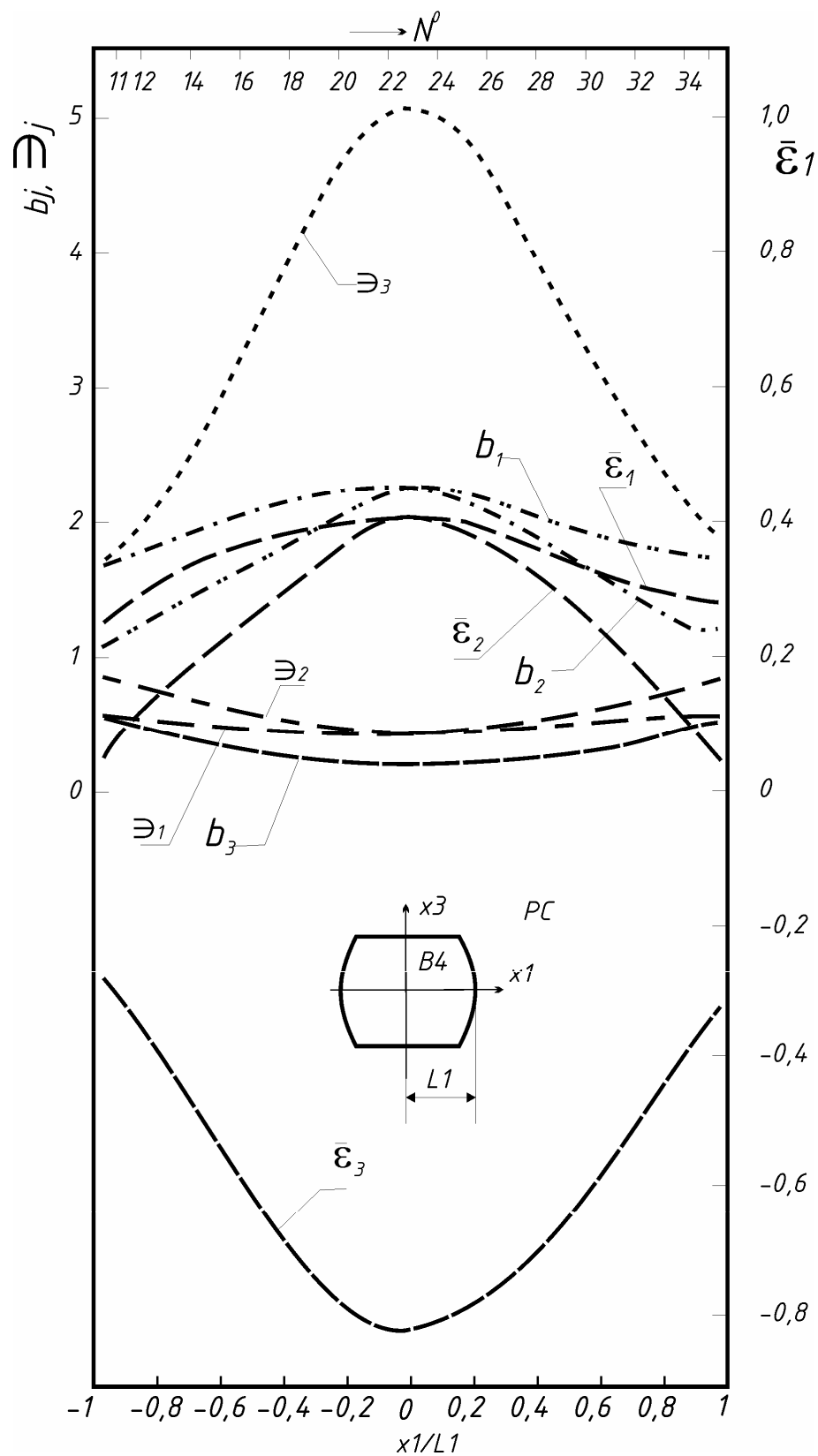
5. ábra Műanyag modellek alakemlékező tulajdonságának alkalmazása az elmozdulás mező meghatározására térbeli modellekben



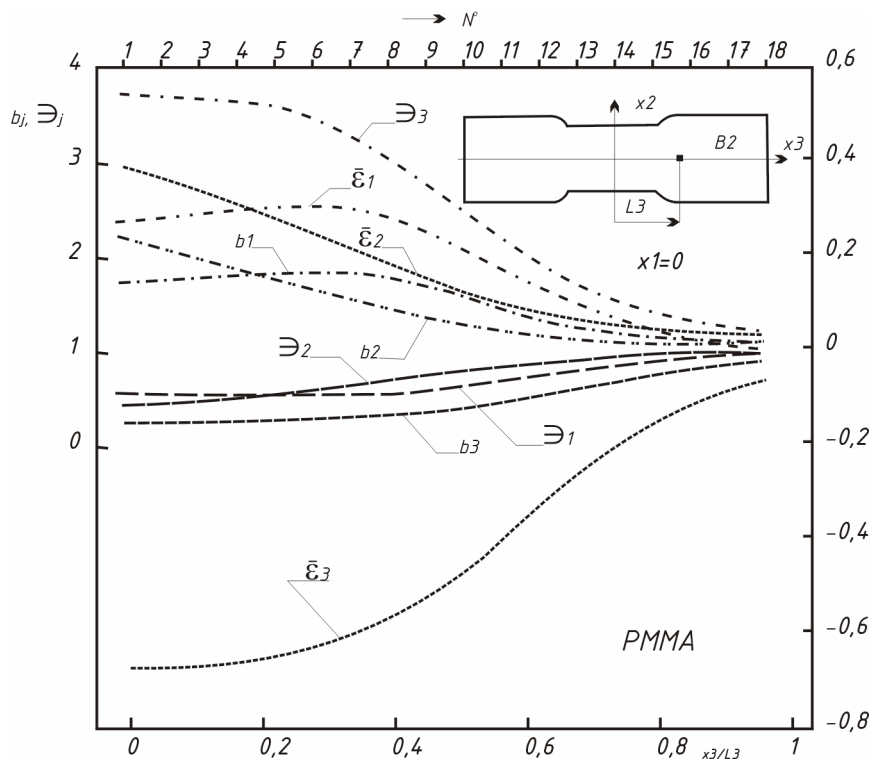
6. ábra Vázlat a szimmetria tengelyen lévő pontban a  $\delta_i$  ( $i=1, 2, 3$ ) főfáziskésések meghatározásához merőleges és ferde átvilágítás alkalmazásánál

7. ábra A  $\delta_i$  fáziskésések meghatározása szimmetria síkokban lévő pontokban egy, illetve két szelet alkalmazásával

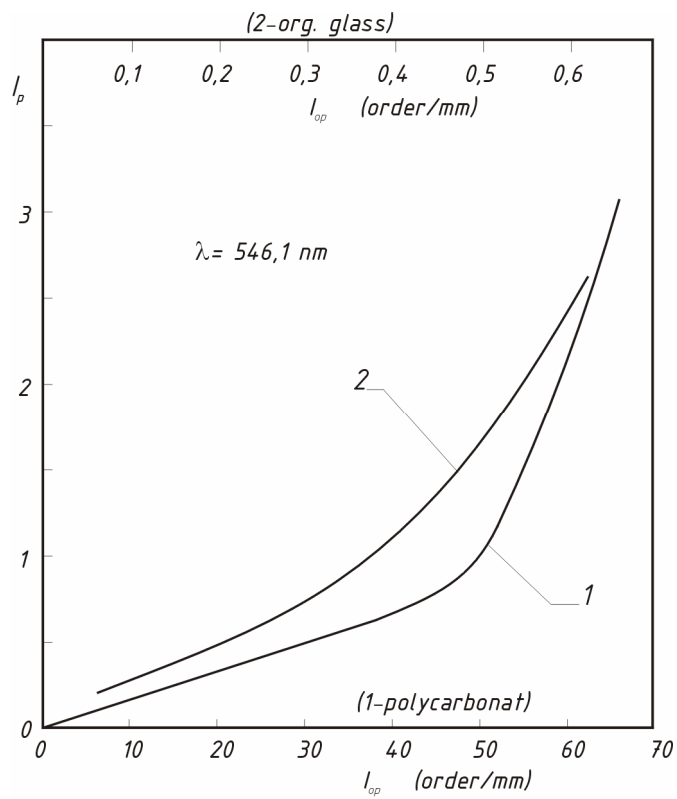




8. ábra Főnyúlások eloszlása a PC modell szimmetria síkjának  $x_1$  tengelye mentén



9. ábra Főnyúlások eloszlása a PMMA modell szimmetria síkjának  $x_3$  tengelye mentén



10. ábra Az optikai anizotrópia intenzitása és az alakváltozás intenzitása közötti függvénykapcsolat PC és PMMA modellanyagoknál





# ZAVARÓ TÉNYEZŐK HATÁSA A FŰTÉSI ENERGIAFOGYASZTÁSRA

## 1. BEVEZETÉS

Az energiamegtakarítás napjaink egyik alapvető célkitűzése mindegyik energia-felhasználó szektorban. Az Európai Unió országaiban, az épületszektor a legnagyobb energiafogyasztó, mintegy 40%-al az összes energiafelhasználásból. Magyarországon a meglévő épületek határolószervezeteinek rossz hőtechnikai minősége miatt, egy épületen belül a fűtés teszi ki a legnagyobb felhasznált energiamennyiséget. Az lakásállománynak csaknem fele olyan épületben található, amelynél a határolószervezetek átlagos hőátbocsátási tényezője meghaladja az  $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ -t. Az külső épületeszerkezetek megfelelő hőtechnikai felújításával a fűtési energiafogyasztás jelentősen csökkenthető [1], [2]. Ugyanakkor a lakások csaknem 42%-a központi fűtéssel van ellátva. A fűtési energiafogyasztás esetében a legnagyobb csökkenést akkor érhetjük el, amikor a határolószervezetek megfelelő mértékű felújítása után, a fűtési rendszert teljes mértékben felújítjuk. Ha a meglévő fűtési rendszert alkalmazzuk a felújított épületben, akkor azt megfelelő módon kell illeszteni az új energetikai követelményekhez [3]. Ha az épület egy távfűtési rendszerre van csatlakoztatva, akkor a minimális energiafogyasztás az épületeszerkezetek felújítása mellett a távfűtési rendszer üzemeltetési paramétereinek az optimális értéken való tartásával érhető el [4].

A közép- és kelet európai országokban a meglévő épületekben üzemelő központi fűtési rendszerek túlnyomó többsége  $90/70 \text{ }^\circ\text{C}$  előremenő/visszatérő hőmérsékletre lett méretezve. A legtöbb esetben pedig a rendszer egyes elemei és berendezései jelentősen túl vannak méretezve. Nem egy olyan eset van, amikor nem csak a leadott hőmennyiség szabályozása nehézkes, hanem a rendszer hidraulikai beszabályozása is nehezen valósítható meg. Sok esetben a hőleadók nincsenek termosztatikus szeleppel ellátva és, ha van termosztatikus szelep, az a rendszer hidraulikai beszabályozatlansága miatt nem tud megfelelően működni. Ha egy teljesen új fűtési rendszert tervezünk, akkor sem tudjuk azt úgy megvalósítani, hogy minden esetben az optimális méretet építjük be (csak a piacon fellelhető méretekből válogathatunk).

Mindezeket figyelembe véve elmondható, hogy régebbi vagy teljesen új rendszereink „zavaró tényezők” hatása alatt működnek. Az eltérés csak a zavaró tényező nagyságában érzékelhető. Ezen zavaró tényezők hatását egy jól üzemeltetett fűtési rendszerek esetében, amelyik megfelelő központi és helyi szabályozókkal van ellátva és hidraulikailag be van szabályozva, minimálisra csökkenthetjük. Egyes zavaró tényezők belső hőmérsékletre gyakorolt hatását már elemezték [5]. A belső hőmérséklet eltérése a tervezési értéktől az energiafogyasztás eltérését eredményezi a várt értéktől és akár hőérzeti problémákat is okozhat. A következőkben vizsgáljuk meg, milyen hatása van különböző zavaró tényezőknek a központi fűtési rendszer energiafogyasztására.

## 2. BELSŐ HŐMÉRSÉKLET

A tervezési belső hőmérsékletet akkor tudjuk a tervezési értéken tartani, ha a fűtőtestek által leadott hőmennyiség minden pillanatban egyenlő az épület/helyiség folyamatosan változó hőigényével:

$$Q_R = Q_r = Q_w \quad (1)$$

ahol

$$Q_R = K(t_i - t_e) \quad (2)$$

$$Q_r = U_r A_r \Delta t_{\ln} \quad (3)$$

$$Q_w = m c_p (t_f - t_r) \quad (4)$$

ahol:  $Q_R$  – a helyiség hőszükséglete;  $Q_r$  – a fűtőtest által leadott hőmennyiség;  $Q_w$  – a fűtőközeg által leadott hőmennyiség;  $K$  – a helyiség hővesztesség-tényezője;  $t_i$  – belső hőmérséklet;  $t_e$  – külső hőmérséklet;  $U_r$  – fűtőtestre vonatkozó hőátbocsátási tényező;  $A_r$  – hőleadó felülete;  $\Delta t_{\ln}$  – közepes logaritmikus hőmérsékletkülönbség;  $m$  – fűtőközeg tömegárama;  $c_p$  – fűtőközeg fajhője;  $t_f$  – előremenő hőmérséklet;  $t_r$  – visszatérő hőmérséklet.

Ha a (2)-(4) összefüggésekbe különböző zavaró tényezőket veszünk figyelembe, akkor az egyenletrendszer megoldásával a kialakuló belső hőmérséklet számítható.

## 1.1 Fűtőközeg tömegáramának eltérése

A fűtőközeg tömegáramának tervezési értéke központi fűtési rendszerek esetében a gyakorlatban igen ritkán valósul meg. Ennek főként a keringtető szivattyú megválasztása és a rendszer nem tökéletes hidraulikai beszabályozása az oka.

Ha az üzemeltetési paraméterek tervezési értékeit „o” indexel jelöljük, akkor, ha a tervezési értéktől eltérő tömegárammal üzemel a fűtési rendszer, felírható:

$$\frac{t_i - t_{eo}}{t_{io} - t_{eo}} = \frac{m}{m_o} \frac{t_{fo} - t_r}{t_{fo} - t_{ro}} \quad (5)$$

Ebben az esetben viszont, mint látható, ha az előremenő hőmérsékletet tervezési értéken tartjuk, a visszatérő hőmérséklet értéke eltér a tervezési értéktől. Ezzel azonban megváltozik a közepes logaritmikus hőmérsékletkülönbség és megváltozik a hőleadó hőátbocsátási tényezője is:

$$\frac{U_r}{U_{ro}} = \left( \frac{\Delta t_{\ln}}{\Delta t_{\ln o}} \right)^{n-1} \quad (6)$$

A (3) és (4) összefüggéseket is használva:

$$\left( \frac{\Delta t_{\ln}}{\Delta t_{\ln o}} \right)^n = \frac{m}{m_o} \frac{t_{fo} - t_r}{t_{fo} - t_{ro}} \quad (7)$$

A belső hőmérséklet és a fűtőközeg visszatérő hőmérséklet értékeit különböző tömegáram eltérések mellett az (5) és (7) összefüggések megoldásával számíthatjuk (1. ábra).

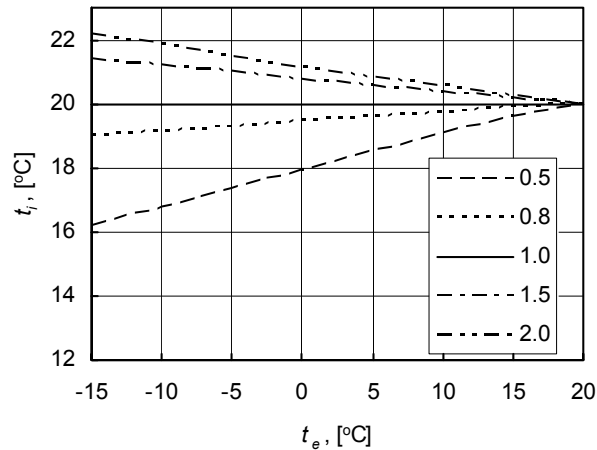
## 1.2 Hőleadó felületének eltérése

A hőleadókat a helyiség hőszükségletének alapján választják ki. Bár nagyszámú hőleadó típus található a kereskedelemben és egy típus esetében is sokféle lehetőség nyílik a megfelelő hőleadó kiválasztására, a gyakorlatban ritkán fordul elő, hogy a helyiség hőszükségletével egyenlő a kiválasztott fűtőtest teljesítménye. Általában a hőleadó teljesítménye a hőszükségletnél nagyobb, vagyis a fűtőfelület a szükségesnél nagyobb. Ha a beépített és a szükséges fűtőfelületek aránya  $r$  akkor a következő összefüggéseket írhatjuk fel:

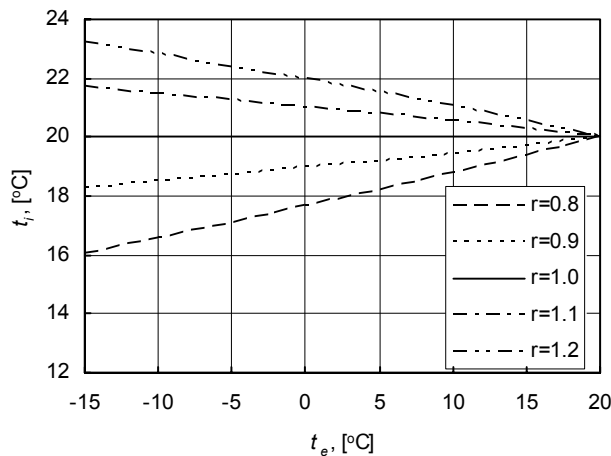
$$\frac{t_i - t_{eo}}{t_{io} - t_{eo}} = \frac{t_{fo} - t_r}{t_{fo} - t_{ro}} \quad (8)$$

$$r \left( \frac{\Delta t_{\text{in}}}{\Delta t_{\text{ino}}} \right)^n = \frac{t_{f0} - t_r}{t_{f0} - t_{r0}} \quad (9)$$

Az előző két összefüggésben ugyanaz a két paraméter az ismeretlen, mint az előző esetben: a belső hőmérséklet és a visszatérő hőmérséklet. Az egyenletrendszer megoldásával a belső hőmérséklet értékeit határozhatjuk meg különböző külső hőmérsékletek mellett (2. ábra)



1.ábra. Belső hőmérséklet különböző tömegáram-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20$  °C;  $t_{f0} = 90$  °C)



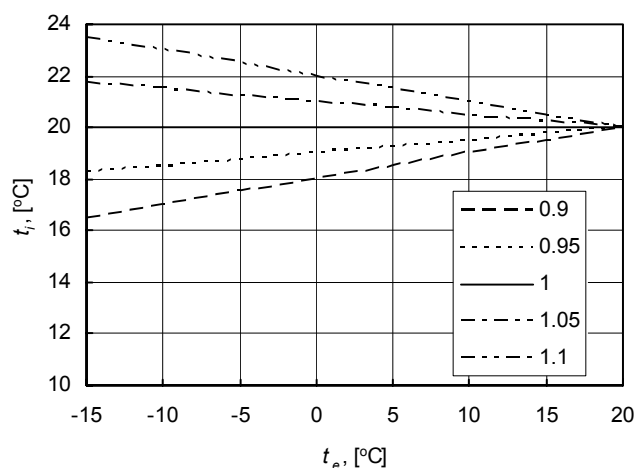
2.ábra. Belső hőmérséklet különböző fűtőfelület-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20$  °C;  $t_{f0} = 90$  °C)

### 1.3 Hőfokelés eltérése

Központi fűtési rendszerek esetében előfordulhat, hogy az előremenő és visszatérő hőmérsékletek különbsége a tervezési értékektől eltér. Az eltérésnek több oka lehet, így például az elosztóvezetékek hőveszteségei, keverőszelepek/hőleadók/hőcserélők nem a tervezési értékre való kiválasztása. Ha a kialakuló hőfokelés és a tervezési hőfokelés értékeinek aránya  $\delta$ , akkor a belső hőmérsékletet a következő összefüggés felhasználásával számíthatjuk:

$$t_i = t_{e0} + \delta(t_{i0} - t_{e0}) \quad (10)$$

Különböző  $\delta$  értékek mellett a belső hőmérséklet értékeit a 3. ábra mutatja be.



3.ábra. Belső hőmérséklet különböző hőfokesés-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20\text{ °C}$ ;  $t_{f0} = 90\text{ °C}$ )

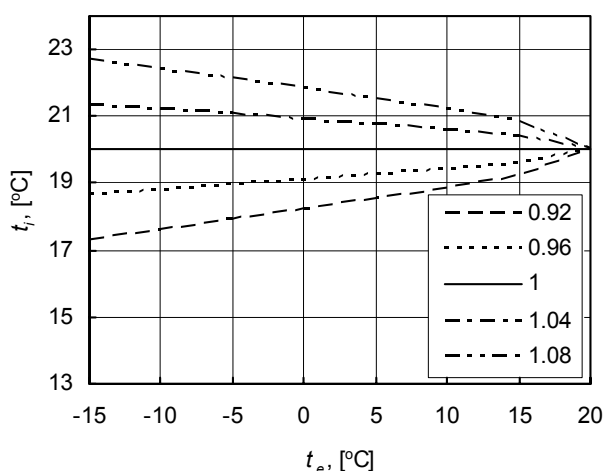
#### 1.4 Előremenő hőmérséklet eltérése

Az előző esetben elemzett hőfokesés eltérést az előremenő hőmérséklet eltérése is okozhatja. Az előremenő hőmérséklet eltérését a szabályozás nem megfelelő kiválasztása/beállítása okozhatja. Ha a fűtési idényben az előremenő hőmérséklet gyakorlati és tervezési értékei között az arány  $f$  akkor a kialakuló belső hőmérsékletet a következő összefüggések alapján számíthatjuk:

$$\frac{t_i - t_{e0}}{t_{i0} - t_{e0}} = \frac{ft_f - t_r}{t_{f0} - t_{r0}} \quad (11)$$

$$\left( \frac{\Delta t_{in}}{\Delta t_{ino}} \right)^n = \frac{ft_f - t_r}{t_{f0} - t_{r0}} \quad (12)$$

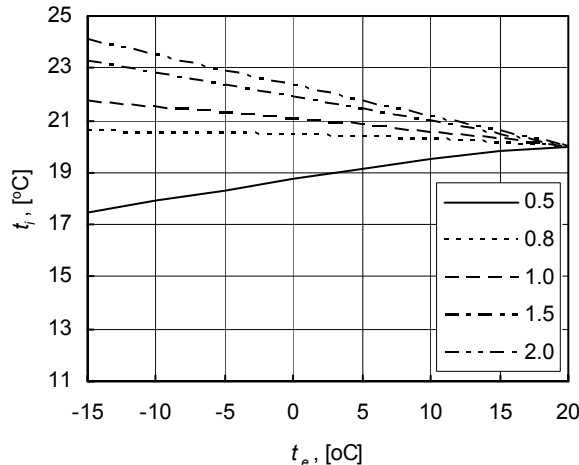
A belső hőmérséklet értékeit a 4. ábra mutatja be.



4.ábra. Belső hőmérséklet különböző előremenő hőmérséklet-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20\text{ °C}$ ;  $t_{f0} = 90\text{ °C}$ )

## 1.5 Tömegáram és fűtőfelület eltérés

Természetesen az előbb felsorolt zavaró tényezők közül egy időben több is fellelhető. Ebben az esetben a hatás vagy fokozódik, vagy az egyes tényezők egymás negatív hatását „kioltják”. Ha például egyidőben a tömegáram is eltér a tervezési értéktől és a kiválasztott fűtőfelület is, akkor a kialakuló belső hőmérsékletet az (5) és (9) összefüggések felhasználásával számíthatjuk ki. Az 5. ábra azt az esetet mutatja be különböző tömegáram eltérések mellett, amikor a fűtőfelület a szükségesnél 10%-al nagyobb.



4. ábra. Belső hőmérséklet különböző tömegáram-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20\text{ °C}$ ;  $t_{j0} = 90\text{ °C}$ )

Az előző diagramokból megállapítható, hogy különböző külső hőmérsékletek mellett a kialakuló belső hőmérséklet változása legtöbb esetben lineárisnak tekinthető. Ettől eltérő eredményt csak abban az esetben kaptunk, amikor az előremenő hőmérséklet eltér a tervezési értéktől. Viszont ebben az esetben is a  $(-15...+12\text{ °C})$  hőmérséklettartományban (fűtési idény) a belső hőmérséklet változása lineáris.

## 3. ENERGIAFOGYASZTÁS

Egy épület fűtési energiafogyasztását a következő összefüggéssel számíthatjuk:

$$E = \frac{K}{\eta_s} \int_0^N (t_i - t_e) dx \quad (13)$$

ahol:  $\eta_s$  – a fűtési rendszer globális hatásfoka;  $N$  – a fűtési napok száma a fűtési idényben.

A külső hőmérséklet változását a fűtési idény során a hőfokgyakorisági görbe jellemzi. A hőfokgyakoriság az azonos átlagos hőmérséklettel rendelkező napok számát jelenti. Tehát a külső hőmérséklet a napok számának ( $x$ ) függvényében kifejezhető [3]. A belső hőmérséklet viszont az ideális esetben állandó. Ha viszont zavaró tényezők befolyásolják a fűtési rendszer működését, akkor láthattuk, hogy a belső hőmérséklet változása a külső hőmérséklet függvényében lineáris. Így felírható a következő összefüggés:

$$t_i = t_{i0} + (t_{i0} - t_e) \text{grad } t_i \quad (14)$$

ahol:  $\text{grad } t_i$  – a belső hőmérséklet változásának gradiense (a dőlésszög tangense):

$$\text{grad } t_i = \frac{t_i(t_{eo}) - t_{io}}{t_{io} - t_{eo}} \quad (15)$$

ahol:  $t_i(t_{eo})$  – a belső hőmérséklet értéke, ha zavaró tényező befolyásolja a rendszer működését, a tervezési külső hőmérséklet mellett (természetesen más külső hőmérséklet mellett is lehet belső hőmérsékletet mérni/számolni és gradiens értéket meghatározni).

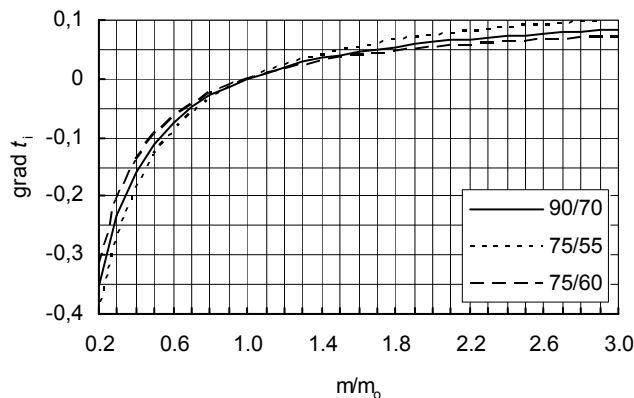
Az energiafogyasztás viszonya zavaró tényezővel üzemelő fűtési rendszer esetében és ideális esetben:

$$\frac{E}{E_o} = \frac{\int_0^N (t_i - t_e) dx}{\int_0^N (t_{io} - t_e) dx} \quad (16)$$

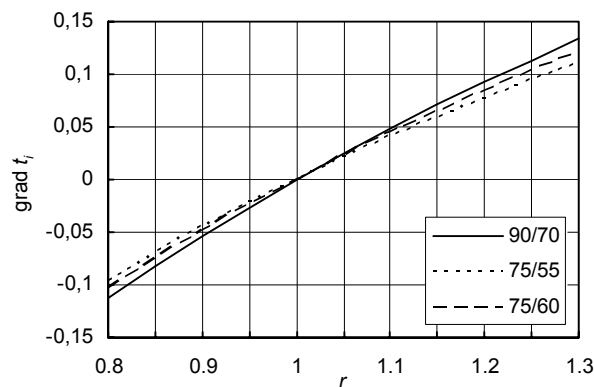
Ha az integrál számítást elvégezzük azt az eredményt kapjuk, hogy az energiafogyasztás eltérése a tervezési értéktől egyenlő a belső hőmérséklet változásának gradiensével [3]:

$$e = \frac{E}{E_o} - 1 = (\text{grad } t_i + 1) - 1 = \text{grad } t_i \quad (17)$$

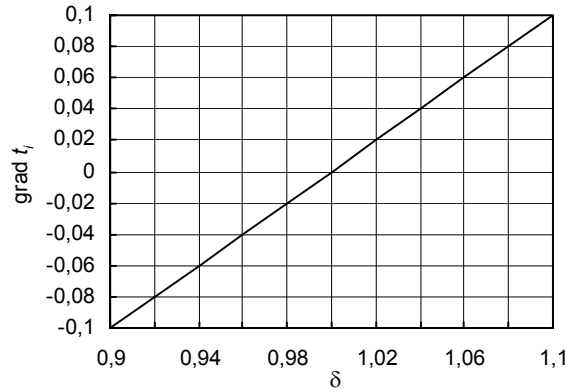
Az (5-8) ábrák a belső hőmérséklet-gradiens értékeit, vagyis az energiafogyasztás eltérését mutatják be, különböző zavaró tényezők esetében.



5.ábra. Belső hőmérséklet-gradiens különböző tömegáram-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{io} = 20\text{ °C}$ ;  $t_{fo} = 90\text{ °C}$ )

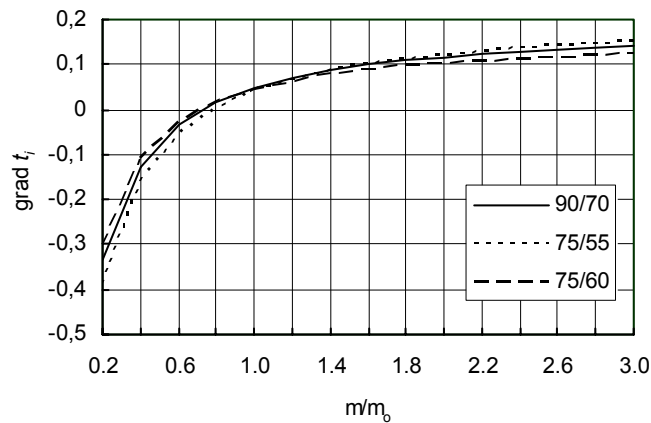


6.ábra. Belső hőmérséklet-gradiens különböző fűtőfelület-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{io} = 20\text{ °C}$ ;  $t_{fo} = 90\text{ °C}$ )



7.ábra. Belső hőmérséklet-gradiens különböző hőfokelés-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20\text{ °C}$ ;  $t_{j0} = 90\text{ °C}$ )

Az 5 és 6 ábra alapján látható, hogy a központi fűtési rendszer üzemeltetési paraméterei is befolyásolják a gradiens értékét. A tömegáram eltérés esetében a gradiens értéke, azonos előremenő hőmérséklet mellett nagyobb, ha nagyobb a hőfokelés, azonos hőfokelés mellett viszont a gradiens nagyobb, ha az előremenő hőmérséklet értéke kisebb. A 7 ábra alapján megállapítható, hogy a hőfokelés eltérés esetében az előremenő-visszatérő hőmérsékletek méretezési értékének nincs hatása a belső hőmérséklet gradiensére.



8.ábra. Belső hőmérséklet-gradiens különböző tömegáram-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20\text{ °C}$ ;  $t_{j0} = 90\text{ °C}$ ;  $r=1,1$ )

Ha a zavaró tényező az előremenő hőmérséklet eltérése a hőmérséklet-gradiens nem állandó a fűtési idény alatt. A nagyobb gradiens értékek a nagyobb külső hőmérsékletekhez tartoznak (9. ábra). Ebben az esetben az energiafogyasztást úgy számíthatjuk, hogy a fűtési idényt intervallumokra osztjuk a külső hőmérséklet függvényében és ezekre az intervallumokra vonatkozóan a gradiens értékét állandónak feltételezzük. A fűtési idényben az energiafogyasztás az intervallumokra vonatkozó rész-energiafogyasztások összege:

$$E = \frac{K}{\eta_s} \sum_{j=1}^p \int_{N_j}^{N_{j+1}} (t_o - t_e) dx =$$

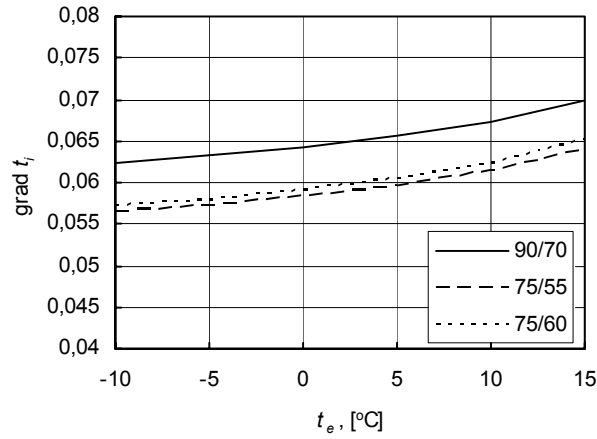
$$= \frac{K}{\eta_s} \sum_{j=1}^p ((grad\ t_i)_j + 1) \int_{N_j}^{N_{j+1}} (t_{i0} - t_e) dx =$$

$$= \frac{K}{\eta_s} (\text{grad } \bar{t}_i + 1) \int_0^N (t_{i0} - t_e) dx \quad (18)$$

ahol:  $N_1=0$ .

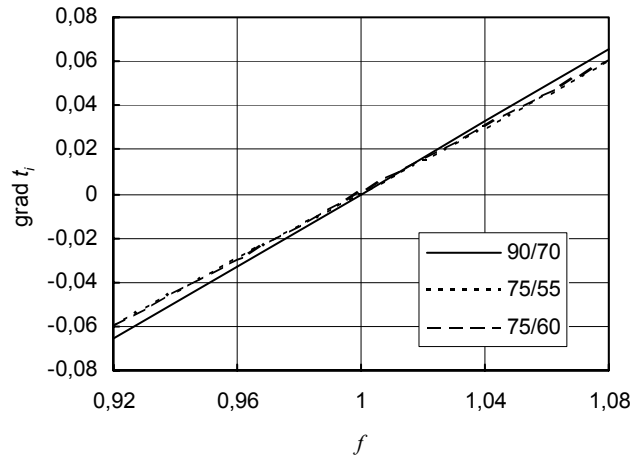
Eben az esetben az energiafogyasztás eltérése:

$$e = \frac{E}{E_0} - 1 = (\text{grad } \bar{t}_i + 1) - 1 = \text{grad } \bar{t}_i \quad (19)$$



9.ábra. Belső hőmérséklet-gradiens a külső hőmérséklet függvényében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20^\circ\text{C}$ ;  $t_{f0} = 90^\circ\text{C}$ ;  $f=1,08$ )

Az energiafogyasztás eltérését/belső hőmérséklet-gradiensének változását a 10. ábra mutatja be.



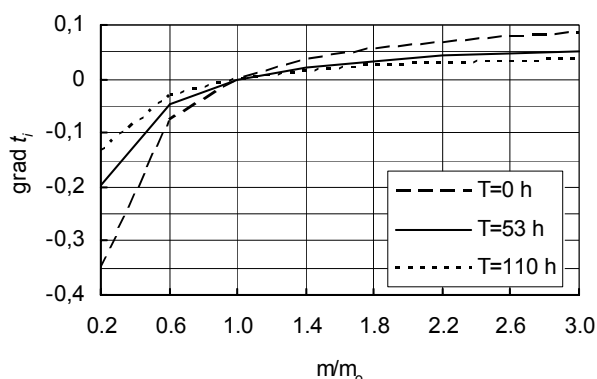
10.ábra. Belső hőmérséklet-gradiens előremenő hőmérséklet-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20^\circ\text{C}$ ;  $t_{f0} = 90^\circ\text{C}$ ;)

Ha a szerkezetekben tárolt hőt is figyelembe vesszük a számítások során, akkor a következő egyenletrendszert kell megoldanunk:

$$\begin{cases} \frac{m}{m_0} \frac{f t_{f0} - t_r}{t_{f0} - t_{r0}} = \frac{(t_i - t_e) + \frac{T}{24} \frac{h_i}{h_i + U_i} (t_i - t_{i0})}{(t_{i0} - t_{e0})} \\ r \left( \frac{\Delta t_{\ln}}{\Delta t_{\ln 0}} \right)^n = \frac{m}{m_0} \frac{f t_{f0} - t_r}{t_{f0} - t_{r0}} \end{cases} \quad (20)$$



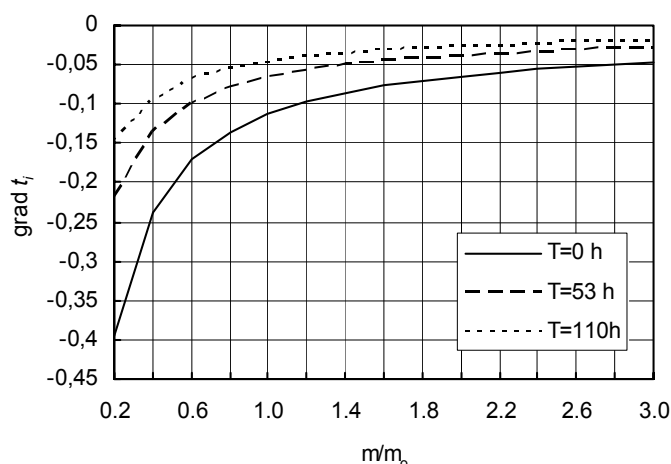
A 11. ábra a belső hőmérséklet-gradiensének értékeit mutatja be, különböző tömegáram eltérések esetében, ha a méretezési előremenő/visszatérő hőmérséklet 90/70 °C.



11. ábra. Belső hőmérséklet-gradiens tömegáram-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{io} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{fo}/t_{ro} = 90/70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;) )

Az ábrában egy 0 időállandóval rendelkező helyiség van összehasonlítva egy közbelső emeleti középnehéz szerkezetű helyiséggel ( $T=53$  h). A  $T=110$  h időállandót arra az esetre vonatkozik, amikor a középnehéz szerkezetű helyiség külső falszerkezetét utólagosan 12 cm vastag polisztirol réteggel látjuk el a külső oldalon.

Ha a fűtőtest 20%-al alulméretezett, akkor látható (12. ábra), hogy a belső hőmérséklet tervezési értéke még akkor sem érhető el, amikor a fűtőközeg tömegárama a tervezési érték háromszorosa.



12. ábra. Belső hőmérséklet-gradiens tömegáram-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{io} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $t_{fo}/t_{ro} = 90/70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  $r=0,8$ )

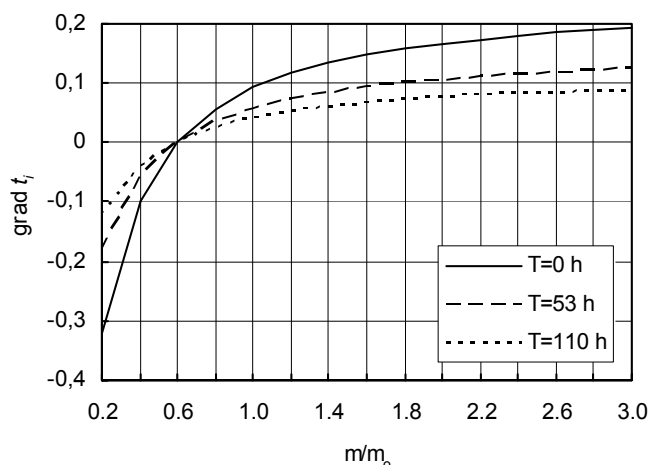
Ha viszont a fűtőtest túlméretezett, akkor megfelelő fűtőközeg tömegáram csökkentéssel elérhető a belső hőmérséklet tervezési értéke (13. ábra).

## 4. ÖSSZEFOGLALÁS

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a zavaró tényezők szignifikáns többlet-energiafogyasztáshoz vagy olyan belső hőmérséklet csökkenéshez vezethetnek, amelyek a belső hőérzeti viszonyokat nagymértékben rontják.

A legtöbb zavaró tényező esetében a belső hőmérséklet változása a külső hőmérséklet függvényében lineáris. Ezekben az esetekben az energiafogyasztás eltérése egyenlő a belső hőmérséklet-változás gradiensevel. Az energiafogyasztás eltéréseinek mértékét nem csak a zavaró tényező típusa és annak

mértéke, hanem a központi fűtési rendszer üzemeltetési paraméterei is befolyásolják. Ezen paraméterek hatása eltérő különböző zavaró tényezők esetében.



13.ábra. Belső hőmérséklet-gradiens tömegáram-eltérések esetében (méretezési paraméterek  $t_{i0} = 20$  °C;  $t_{f0}/t_{r0} = 90/70$  °C;  $r=1,2$ )

Ha egyidejűleg több zavaró tényező is befolyásolja a központi fűtési rendszert, akkor ezek eredő hatása az energiafogyasztásra különböző lehet. Ha mindegyik zavaró tényező egy irányba hat, akkor az energiafogyasztás eltérésének mértéke jelentős lehet. Ha egyes zavaró tényezők hatása ellentétes, akkor az energiafogyasztás eltérésének mértéke csökkenhet. Központi fűtési rendszerek esetében a zavaró tényezők gyakorlatilag teljesen nem szüntethetők meg, de hatásuk nagymértékben csökkenhető, megfelelő üzemeltetési paraméterek megválasztásával.

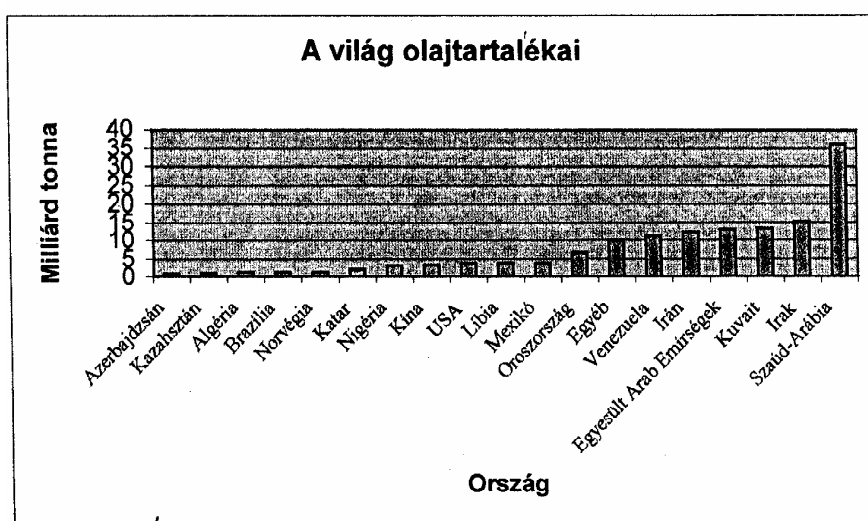
#### FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] CSOKNYAI Tamás: Energy conscious retrofit of residential buildings made with industrialized technology, 92-96, PhD thesis, Budapest: BUTE, 2004.
- [2] ZÖLD András: A paneles lakóépületek utólagos hőszigetelésének közvetlen és közvetett hatásai, Energiagazdálkodás, 41(7):14-16, 2000.
- [3] KALMÁR Ferenc: Központi fűtési rendszerek illesztése felújított épületek megváltozott energetikai igényeihez, Doktori értekezés, BME, Budapest, 2004.
- [4] HALÁSZ Györgyné: Távhőellátó rendszerek vizsgálata matematikai modellek alkalmazásával, különös tekintettel a fűtési fogyasztói rendszerek optimális szabályozására, Doktori értekezés, BME, Budapest, 2001.
- [5] PETITJEAN Robert: Total hydronic balancing, Ljung: Tour&Andersson AB, 1997.

## BIODIESEL – VÁLASZOK KÉRDŐJELEKKEL

*„A növényi olaj üzemanyagként történő használata ma még jelentéktelen. Idővel azonban ezek a termékek ugyanolyan fontosak lesznek, mint a benzin és kátrány termékek.”  
(R. Diesel, 1912.)*

Napjainkban a világon újabb energiaválság van kibontakozóban, melynek számos kiváltó oka lehetséges. Ezek között első helyen említendő az ismert kőolajkészletek kimerülése, miszerint a feltárt 143 Mrd t tartalék jelenlegi kitermelés mellett mintegy 40 évre elegendő. (1. ábra)

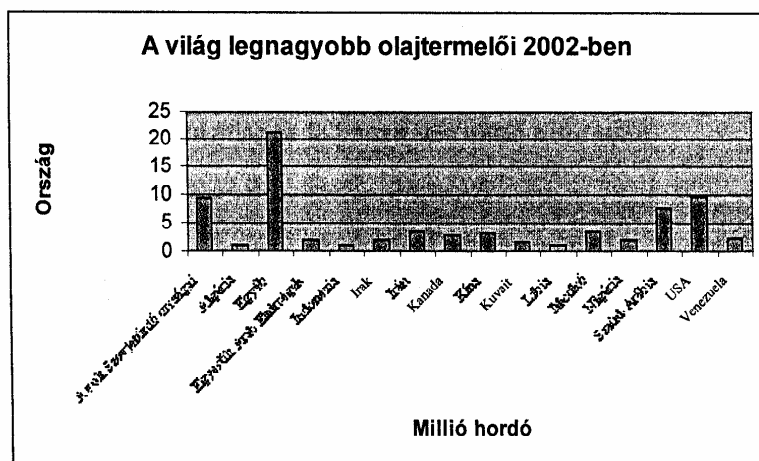


1. ábra A világ olajtartalékai

Forrás: BP

A folyamatosan csökkenő kitermelés természetesen az árak folyamatos emelkedésével fog együtt járni. Az első energiaválság idején érvényes 7 USD/hordó ár napjainkra elérte a 65-70 USD/hordót, szakértők becslése szerint 90 USD/hordó ár környékén a biohajtóanyagok előállítása nagymértékben növekedni fog. Ugyanakkor a világ energiaigényének növekedése miatt a kőolaj iránti igény évente mintegy másfél százalékkal nő.

Szintén nagy problémákat okoz az ismert kőolajkészletek egyenlőtlen eloszlása és az ellátás bizonytalansága is. Az ismert kőolajkészletek mintegy 70 %-a úgynevezett válságövezetekben található, illetve politikailag instabil országokból (Közel-Kelet) kerül kitermelésre. (2. ábra)



2. ábra A világ legnagyobb olajtermelői 2002-ben  
 Forrás: BP

Az EU 2003/30/EC számú irányelve Magyarország számára is előírta, hogy 2005. végéig az értékesített hajtóanyagok 2 %-ának, 2010-re 5,75 %-ának, 2020-ra 8 %-ának biohajtóanyagnak kell lennie. Ez magában foglalta a bioetanol és biodízel előállítását is, mely 2004-ben az EU 25 vonatkozásában 491 ezer tonna bioetanol és 1.933 ezer tonna biodízel gyártást jelentett. Magyarország jelenleg mintegy 80 %-ban szorul kőolaj importra, ez 2020-ban 90 %-os mértéket fog elérni, miközben az Európai Unió jelenleg 55 %-ban szorul kőolajimportra, ez az arány 2020-ra el fogja érni a 70 %-ot.

Közismert, hogy Magyarország a Kyotói Egyezményben 6 %-os CO<sub>2</sub> csökkentést vállalt 2012-ig. Szakértők szerint a globális felmelegedés okozta károk hazánkban évente mintegy 150-180 milliárd forintba tehetők. Világviszonylatban a klimatikus károsodást a szakértők évi 310 Mrd Euro-ra becsülik.

Magyarország 2005-re 0,6 %, 2010-re 4 %-os biohajtóanyag bekeverését vállalta. Uniós vállalásunk teljesítéséhez 76-109 Et/év ETBE-re és 96-138 Et/év biodízeltre lesz igénye a MOL Rt-nek. (1. táblázat)

A potenciálisan előállítható bio-motorhajtóanyagok lehetséges felhasználása (Et) 1. táblázat

Megnevezés	Bipoetanol		Biodízel	
	min.	max.	min.	max.
1. Mennyisége	635	1.330	100	250
2. Várható belföldi felhasználás				
- 2,0 %-os bekeverés esetén	-	40	-	44
- 5,75 %-os bekeverés esetén	-	115	-	127
- 10,0 %-os bekeverés esetén	-	200	-	220
- 20,0 %-os bekeverés esetén	-	400	-	440
3. Lehetséges exportvolumen				
- 5,75 %-os bekeverés esetén	520	1.215	-	123
- 10,0 %-os bekeverés esetén	435	1.130	-	30
- 20,0 %-os bekeverés esetén	235	930	-	-

Forrás: Hajdú J. 2006.

Hazánkban mindkét biohajtóanyag előállításának alapvetően adottak a termesztési feltételei, ezt számos hazai kutató elemzéseivel alátámasztotta. (2. táblázat)

Az ipari célra termelt gabonafélékből és olajos megvakból előállítható biomotorhajtóanyagok mennyisége (E t) 2. táblázat

Megnevezés	Búza	Kukorica	Napraforgó	Repce
1. Termésmennyiség:				
- min.	4.700	7.200	950	220
-max	6.000	8.500	1.250	460
2. Motorhajtóanyag célú felhasználás				
- min.	600	1.200	50	220
- max.	1.800	2.000	200	460
3. Előállítható motorhajtóanyagok mennyisége				
- bioetanol: min.	215	620		
max.	640	690		
-biodízel: min.			23	77
max.			90	160

Forrás: Hajdú J. 2006.

A jelenleg rendkívül szerény volumenű hazai biohajtóanyag előállító kapacitások gyors ütemű fejlődés előtt állnak. Amennyiben a tervezett beruházások 2-3 éven belül megvalósulnak, Magyarország biodízel hajtóanyagból ki tudja elégíteni a hazai igényeket, míg bioetanolból jelentős export bevételre tehet szert. (3. táblázat)

Hazai biohajtóanyag előállító kapacitások 3. táblázat

Biodízel üzemek				
	Beruházás	Kapacitás/év	Határidő	Foglalkozt.
<b>M ű k ö d ő</b>				
<b>Kunhegyes</b> (Közép-Tiszai Mg-i Rt)	n.a.	4 et	folyamatos	n.a.
<b>Mátészalka</b> (Inter-Tram Kft.)	1 mrd Ft	4 et	folyamatos	n.a.
<b>É p ű l ő</b>				
<b>Komárom</b> (Rossi Biofuel Zrt.)	30-40 m Euro	150 et	2008.	40 fő
<b>Baja</b> (JC Neckermann)	8 mrd Ft	100 et	2007.	35 fő
<b>Bábolna</b> (Öko-Line Kft)	5 mrd Ft	50 et	2007.	n.a.
<b>Gyöngyösorosi</b> (Envirocomplex Kft.)	2 mrd Ft	> 10 et	2008.	n.a.

3. táblázat folytatása

Bioetanol üzemek				
	Beruházás	Kapacitás/ év	Határidő	Foglalkozt.
<b>Működő</b>				
<b>Győr</b> (Győri Szeszgyár Zrt.)	1 mrd Ft	26+40 ml	2007	n.a.
<b>Szabadegyháza</b> (Hungrana Kft.)	n.a.	150 ml	folyamatos 2008.	n.a.
<b>Épülő</b>				
<b>Gönyű</b>	} 380 m Euro	600 ml	2008.	300 fő
<b>Marcali</b>				
<b>Kaba</b> (Sekab Bioenergia Zft)				
<b>Fadd Dombori</b> (Rodepart Kft.)	55 mrd Ft	100 et	2008.	n.a.
<b>Mohács</b> (United Biofuels AG)	70 m Euro	300 et	2008.	80 fő
<b>Martfű</b>	40 m Euro	400 et	n.a.	n.a.
<b>Csurgó</b>	80 m Euro	n.a.	n.a.	n.a.
<b>Hajdúsámson</b> <b>Marcali</b> (CSLM Group)	64 mrd Ft	n.a.	n.a.	n.a.
	18 mrd Ft			

A Szolnoki Főiskola Műszaki és Mezőgazdasági Fakultásán Mezőtúron egy NKFP-s pályázat keretében összehasonlító motorféktermi és füstölésmérési vizsgálatokat végeztünk hatféle növényolaj alapú hajtóanyag illetve repcemetilészter 10 %-os gázolajos keverékével és gázolaj – mint etalon – hajtóanyaggal. A mérések lefolytatásához PERKINS 1104 C típusú motor állt rendelkezésünkre.

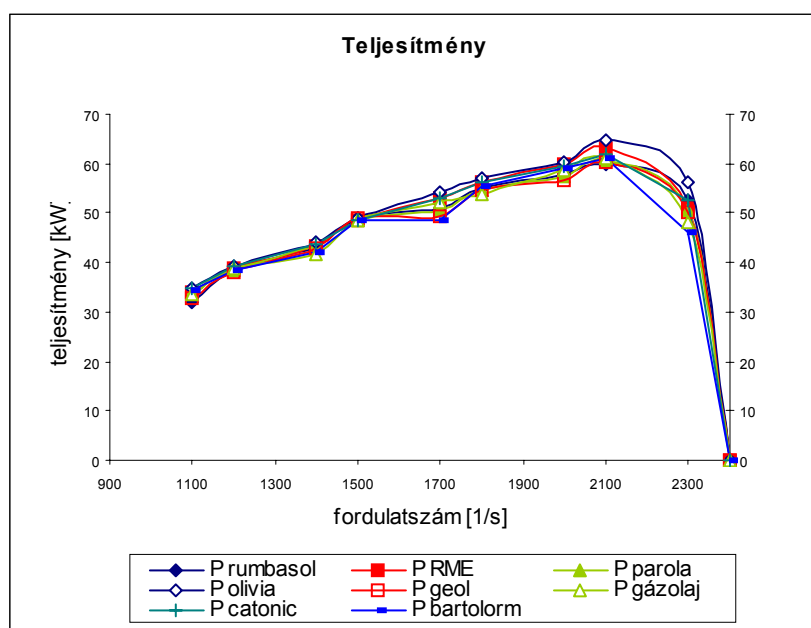
A vizsgálatok során az alábbi hajtóanyagokat alkalmaztuk:

- kereskedelmi gázolaj,
- hatféle növényolaj (10 %) és gázolaj (90 %) keveréke,
- repcemetilészter (10 %) és gázolaj (90 %) keveréke.

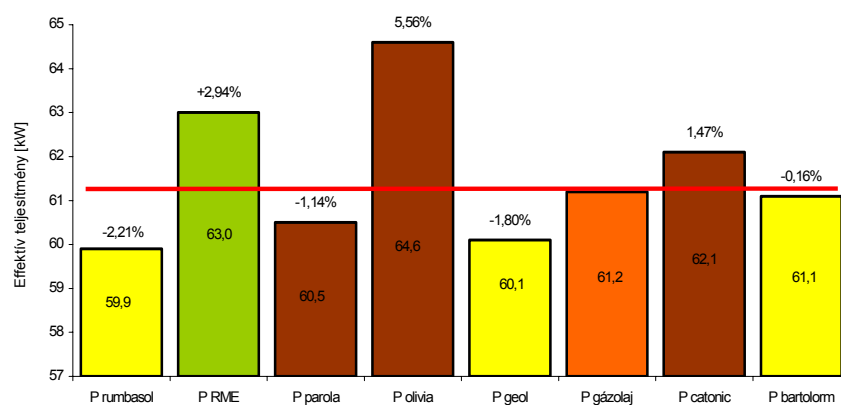
A motorféktermi vizsgálat során teljes töltés melletti rögzített adagolókar állásnál összesen 10 munkapont felvételére került sor, 1100 1/perctől - 2400 1/perc motorfordulatszámok között. Az emissziós méréseket az EU 49-es szabványa szerint (ún. 13 lépcsős teszt) hajtottuk végre. A fénylevelési együttható mért eredményeit a 5. ábrán szemléltetjük.

## MOTORFÉKTERMI MÉRÉSEK ÉRTÉKELÉSE

A fő motorteknikai paraméterek (P, M, b) fordulatszám jelleggörbéin kívül százalékos oszlopdiagramos összehasonlítást végeztünk a gázolajhoz, mint etalonhoz viszonyítva.

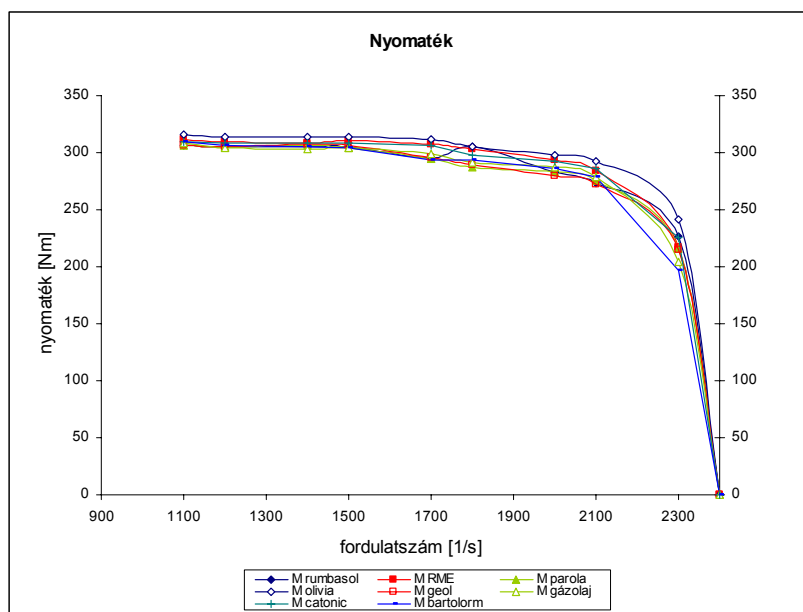


3 ábra A motorteljesítmények alakulása a fordulatszám függvényében

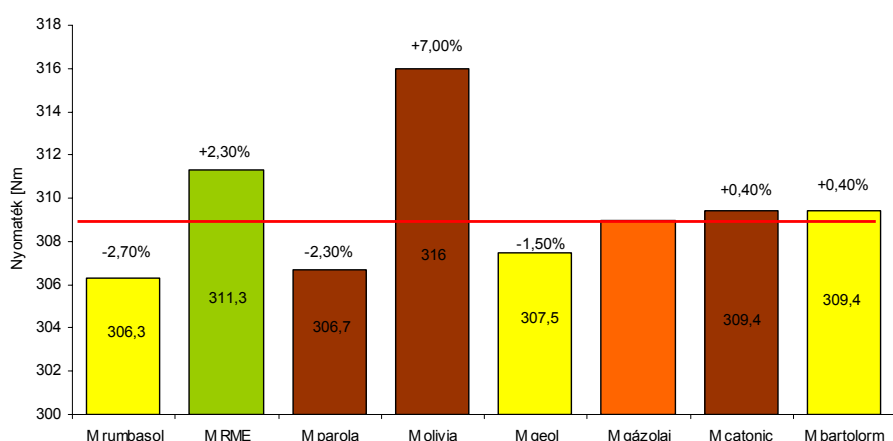


4. ábra Maximális motorteljesítmények alakulása és százalékos összehasonlítása

A motorteljesítmények összehasonlításakor (3. és 4. ábra) elmondható, hogy a három repceolaj gázolaj keverék közül kettő meghaladta a gázolajjal mért maximális teljesítmény értékeket az olivia fajta 5,56 %-kal, míg a cationic 1,47 %-kal. Említést érdemel, hogy az RME és gázolaj keverékes hajtóanyag ugyancsak magasabb teljesítményt mutatott a gázolajénál mintegy 3 %-kal. A vizsgált napraforgóolaj, gázolaj minták közül eggyel sem tudtuk elérni a gázolajos maximális teljesítményértékeket.



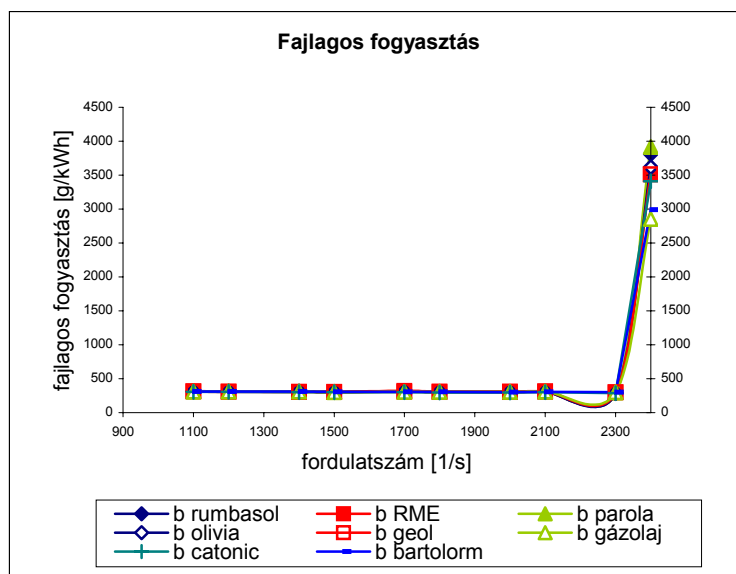
5. ábra A nyomatékok alakulása a fordulatszám függvényében



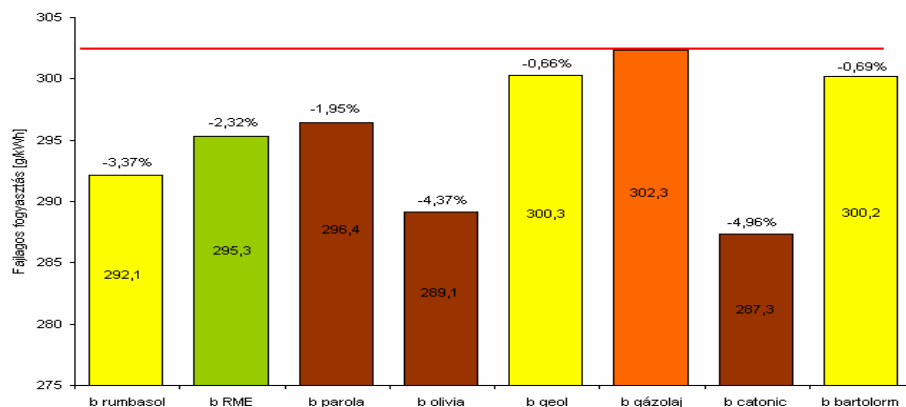
6. ábra Maximális nyomatékok alakulása és százalékos összehasonlítása

A forgatónyomatékok értékelésénél (5. és 6. ábra) megállapítható, hogy összhangban a motorteljesítménynél leírtakkal, a három repceolajos gázolaj keverék közül kettő 7 %-kal, illetve 0,4 %-kal meghaladta a gázolajnál mért értéket. Az RME gázolajos keverék 2,3 %-kal képviselt magasabb értéket, mint a gázolajos minta. A három vizsgált napraforgóolaj, gázolaj keverékből egy 0,4 %-kal meghaladta a gázolajos minta értékét, míg a másik kettő attól elmaradt.





7. ábra A fajlagos hajtóanyag-fogyasztás alakulása a fordulatszám függvényében

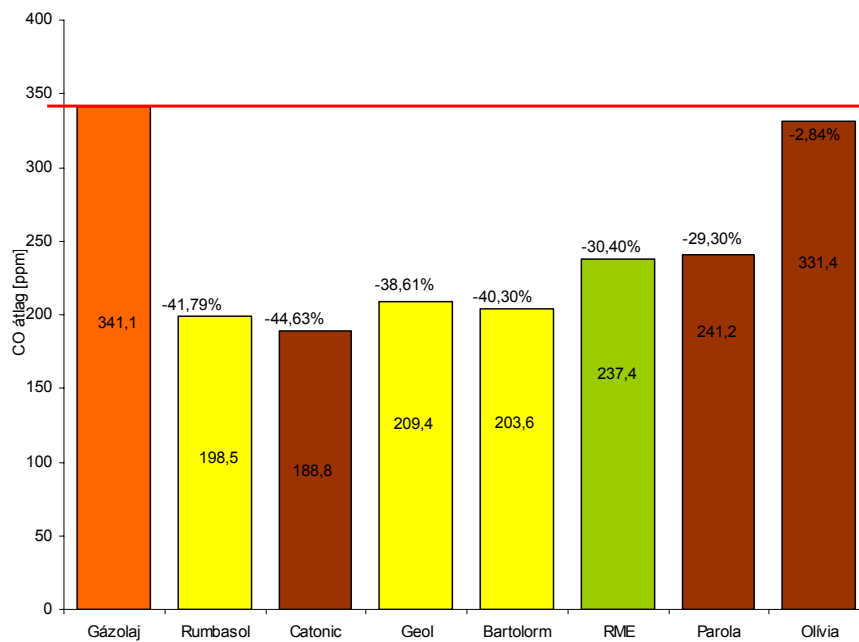


8. ábra Hajtóanyagfogyasztások alakulása és százalékos összehasonlítása

A fajlagos hajtóanyag-fogyasztás (7. és 8. ábra) vizsgálatok során mind a napraforgó-gázolaj keverékes, mind a repceolaj-gázolaj keverékes mintáknál kisebb értékeket tapasztaltunk, mint a gázolajos etalon esetében. Megállapítható továbbá, hogy a repceolaj-gázolajos keverékek kedvezőbb fajlagos fogyasztási értékeket mutattak (esetenként közel 5 %-kal), mint a napraforgó-gázolajos minták.

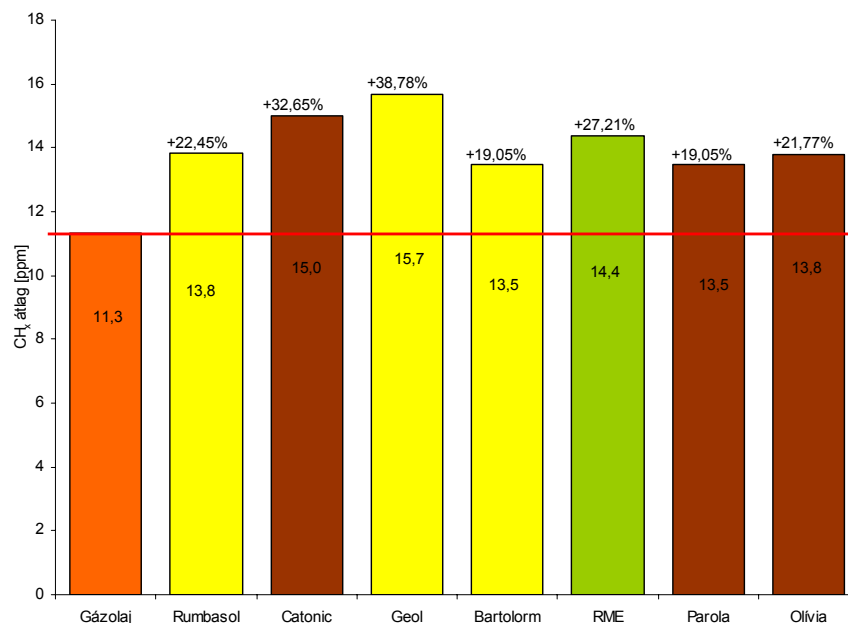
*A motorféktermi mérések összegzéseként elmondható, hogy a vizsgált paraméterek ( $P$ ,  $M$ ,  $b$ ) alapján a repceolajok között olivia, catonic, parola sorrend állapítható meg, míg a napraforgó-fajták között bartolorm, geol, rumbasol sorrend figyelhető meg. Ennek valószínű magyarázata a napraforgóolaj illetve a repceolaj eltérő égéshőjében keresendő, ugyanis a repceolaj égéshője 40560 kJ/kg, mely közel 2 %-kal haladja meg a napraforgó-olaj égéshőjét (39813 kJ/kg).*

## EMISSZIÓS VIZSGÁLATOK ÉRTÉKELÉSE



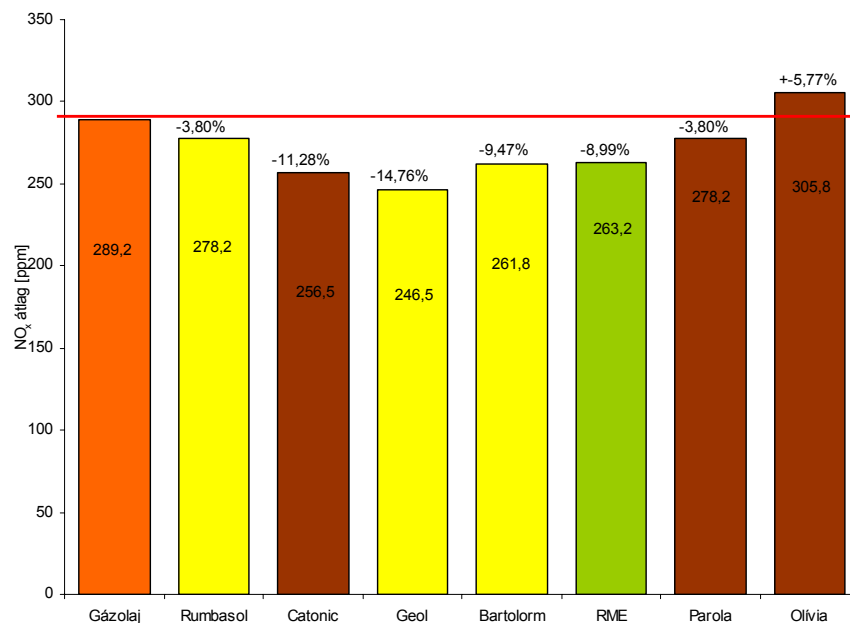
9. ábra CO átlagértékek alakulása az egyes hajtóanyagtípusok esetében

A szénmonoxid átlagos értékének értékelésekor (9. ábra) megállapítható, hogy a napraforgó-gázolajos keverékek mintegy 40 %-kal, az RME gázolajos keverék 30,4 %-kal kisebb értéket képvisel, mint a gázolajos minta CO értéke. A repceolaj-gázolajos keverékek ugyan szintén az etalonhoz mérten kisebb értéket mutattak, azonban 44,63 %-tól 2,84 %-os csökkenésig szórta.



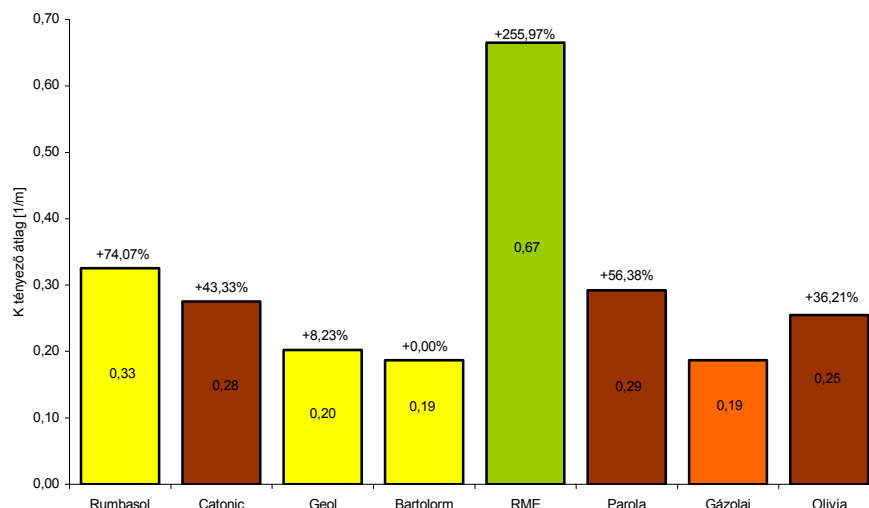
10. ábra CH<sub>4</sub> átlagértékek alakulása az egyes hajtóanyagtípusok esetében

Az el nem égett szénhidrogén komponensek (10. ábra) vizsgálatánál elmondható, hogy az összes növényolaj-gázolajos keverékminta magasabb CH<sub>4</sub> értéket mutatott, mint a gázolaj esetében mért érték. Megállapítható továbbá az is, hogy számottevő különbség a napraforgó-gázolajos keverékminta és a repceolaj-gázolajos keverékminta értéke között nem volt megállapítható.



11. ábra NO<sub>x</sub> átlagértékek alakulása az egyes hajtóanyagtípusok esetében

A nitrogénoxid károsanyag-összetevő (11. ábra) értékelése során elmondható, hogy egy repceolaj-gázolaj keverék (olíviafajta) kivételével az összes többi vizsgált minta NO<sub>x</sub> emissziója a gázolaj esetében mért átlagos érték alatt maradt 14,76 %-tól 3,8 %-ig. Megemlítendő, hogy a repceolaj-gázolajos keverékek nitrogénoxid kibocsátása némileg meghaladta a napraforgó-gázolajos minták értékeit.



12. ábra A fényelnyelési együttható átlagos értékének változása a hajtóanyagtípusok függvényében

A fényelnyelési együttható (K tényező) (12. ábra) alakulásáról megállapítható, hogy a napraforgó-gázolajos keverék minták opacitása összességében kedvezőbb értékeket mutat, mint a repceolaj-gázolajos keverékmintáké, azonban az összes vizsgált minta esetében meghaladja a gázolajnál mért fényelnyelési együttható értékét. Kiugróan magas, 2,5-szeres opacitást mértünk az RME-gázolajos keveréknél, melynek oka valószínűsíthetően az, hogy a rendelkezésünkre álló RME-t két és fél éve gyártották, és a hajtóanyagban valószínűleg megindult a biológiai bomlás folyamata.

*Az emissziós komponensek összesített értékelése alapján a napraforgó fajták közül a bartolorm képviselte a lényegesen kedvezőbb értéket, a rumbasol és a geol fajták nagyjából azonos károsanyag kibocsátással bírnak. A repcefajták között pedig parola, catonic, olivia sorrend állapítható meg a kipufogógáz emissziók vizsgálata alapján.*

#### FELHASZNÁLT IRODALOM

HAJDÚ J. – MAGÓ L.: Az energiatermelő mezőgazdaság, Mezőgazdasági Technika, 2006. augusztus 2-4. p.  
FEHÉRVÁRY Krisztina: Gabonából üzemanyag, Föld, 2006. augusztus 22-24. p.